

Al dirigir los fármacos específicamente a las células cancerosas se reduce la cantidad de fármaco que llega a las células normales, se minimiza su toxicidad y se incrementa su efecto antitumoral. Con estas mejoras, se podría convertir el cáncer en una enfermedad crónica y manejable.

En la quimioterapia convencional, los fármacos entran en la célula cancerosa y en las demás por mera difusión a través de la membrana que envuelve la célula. Es un proceso lento y sólo funciona cuando la concentración de fármaco en la sangre es muy elevada. Pero la nanopartícula, que lleva pegadas moléculas de ácido fólico, aprovecha el mecanismo celular de importación de esa vitamina, que está mediado

por un receptor específico y, por lo tanto es mucho más eficaz.

En conclusión, la nanotecnología tendrá un papel esencial en el desarrollo de tecnologías sostenibles en el futuro tanto para la humanidad como para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cabildo, P., Cornago P., Escolástico, C., Esteban, S., Farrán M.A., Pérez M. y Sanz D.: *Procesos orgánicos de bajo impacto ambiental. Química Verde*. UNED, Madrid, 2006.
2. Anastas, P.T. and Warner, J.C.: *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press, Oxford, 1998.
3. Anastas, P.T. and Williamson, T.C.: *Green Chemistry, Frontiers in Be-*

nign Chemical Synthesis and Processes. Oxford University Press, Oxford, 2000.

4. Cann M.C. and Connelly M.E.: *Real World Cases in Green Chemistry*. American Chemical Society, Washington, 2000.
5. Lancaster, M.: *Green Chemistry. An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2002.
6. Tundo, P. and Anastas P.T.: *Green Chemistry Challenging Perspectives*. Oxford Science Publications, 2000.
7. Albrecht, M.A., Evans, C.W. and Raston, C.L.: *Green Chemistry*, **8**, 417-432 (2006).

Consuelo Escolástico,
M.^a Ángeles Farrán y Marta Pérez
Dpto. de Química Orgánica
y Bio-Orgánica

Desertificación y su diagnóstico

La desertificación es uno de los problemas ambientales más acuciantes del planeta desde mediados del siglo pasado. Se estima que afecta a unos 350 millones de km², concerniendo a 2.600 millones de personas en más de 110 países (Geist, 2005). Si bien la expansión reciente del fenómeno es incuestionable, existen evidencias históricas que atestiguan el colapso de antiguas sociedades y culturas debido a factores relacionados con la desertificación, tal como la entendemos hoy día. Entre los casos mejor conocidos (Geist, 2005) está el 'Creciente Fértil' en Oriente Medio, sobre todo por incapacidad de gestionar el riesgo de salinización del suelo, y en China septentrional, por la combinación de la creciente aridez desde hace unos 7.000 años, y de la expansión de la agricultura en estepas arenosas, muy susceptibles a la erosión eólica.

En contraste con la importancia del fenómeno, su tratamiento es aún muy deficiente. Debido a la carencia de criterios sólidos de diagnóstico, los remedios son casi siempre sintomáticos, limitándose a paliar sus efectos. La dificultad radica en que la desertificación se presenta bajo la apariencia de síntomas muy diversos: ruina de pastos y cultivos, erosión del suelo y empobrecimiento de las poblaciones afectadas, entre otros. Semejantes catástrofes eran percibidas, en cada caso, de forma aislada, pero no fue hasta los años setenta del pasado siglo, con ocasión de las grandes sequías en la franja subsahariana, cuando se comenzó a intuir una estructura común bajo esa multiplicidad de apariencias.

En ese momento se acuñó el término 'desertificación', definido en el Convenio Internacional de Lucha

contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD), que se estableció en el marco de la ONU en 1994, como *la degradación de tierras en áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de varios factores, incluyendo cambios climáticos y actividades humanas*.

Sin embargo, tanto el vocablo como la definición siguen siendo demasiado abstractos para pasar al dominio común de las poblaciones directamente amenazadas, las cuales únicamente perciben una pérdida de capacidad productiva de la tierra que conduce a su propio empobrecimiento.

El hecho de que las zonas afectadas por la desertificación sufran mayor impacto por sequías, conduce a la idea de que existe una relación entre ese fenómeno y la expansión de los desiertos y, en consecuencia, a la confusión entre desertización y desertificación. La sequía es la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos, sea por efecto de una disminución de las lluvias o por aumento del consumo de agua. Eso significa que podemos encontrar sequía sin disminución significativa de la precipitación.

El término 'desertización' alude al abandono de un territorio debido a fluctuaciones climáticas, sucesos políticos, plagas u otras adversidades. El vocablo 'desierto' se refiere primariamente a ese vacío poblacional, y sólo secundariamente, a los lugares con gran escasez de precipitaciones y, por ello, inhóspitos y despoblados. El término 'desertificación' indica el papel activo del hombre, junto a otros factores, sobre todo climáticos, en la reducción de la capacidad productiva de las regiones afectadas.

Los desiertos climáticos se forman a escala geológica (milenios) y sus ecosistemas han tenido tiempo de adap-

tarse a sus condiciones ambientales. Por el contrario, la desertificación ocurre a escala humana (decenios) y sus ecosistemas son residuos de los antecedentes mezclados con otros nuevos, de carácter colonizador y pionero. En consecuencia, podemos afirmar que la desertificación conduce a desiertos poblacionales, pero no necesariamente a los desiertos climáticos.

Con semejantes antecedentes, resulta evidente que el desarrollo de la capacidad de diagnóstico requiere avanzar en el conocimiento de la desertificación como proceso que afecta al sistema constituido por el hombre y sus recursos naturales renovables. A continuación, se resumen los progresos realizados en ese sentido y, previamente, a modo de anclaje con la realidad, se presentan algunos casos documentados históricamente (Puigdefabregas, 2005).

REVISIÓN HISTÓRICA DE CASOS DE DESERTIFICACIÓN

La región del Sahel ocupa una franja de clima semiárido al sur del Sahara. Durante los años 70 del pasado siglo, la zona sufrió una sequía que duró varios años, arruinando las economías de los países afectados. El fenómeno saltó por primera vez a la opinión pública, a través de acciones emprendidas por Naciones Unidas, incluyendo conferencias de expertos en Nairobi y proyectos internacionales de investigación. Descripciones detalladas de lo ocurrido (Thebaud, 1993) contribuyeron a comprender las causas de lo sucedido. En realidad, la zona había experimentado una anomalía climática húmeda desde mediados de los cincuenta hasta mediados de los sesenta, estimulando la migración hacia el norte de poblaciones de agricultores y ganaderos, y a convertir en estantes, a las nómadas. Cuando, años más tarde, sobrevino una sequía importante, aunque no más que otras habidas en el pasado, esas poblaciones se vieron abocadas a sobrevivir en un medio climático hostil con medios y sistemas agrarios inadaptados al mismo. Se convirtieron así en *recolectores de broza* (ramasseurs de brousaille), ya que habiendo arruinado los recursos disponibles, no podían ni siquiera volver a sus zonas de origen, debido a que lo habían invertido todo en su nuevo lugar y modo de vida.

El África Mediterránea, al norte del Sahara, desde los años sesenta del pasado siglo, experimenta una tasa de incremento poblacional altísima, duplicándose en 30 años (Le Houérou, 1992). Esta circunstancia, unida a las políticas nacionales de fijar sus poblaciones nómadas, conduce a una sobreexplotación de la tierra y a un empobrecimiento generalizado. La agricultura se expande ocupando zonas frágiles en antiguos pastos. Por su parte, los oasis, superpoblados y dotados de nuevos medios técnicos para alcanzar niveles freáticos profundos, con frecuencia, fósiles, tienden a salinizar los suelos por falta de drenajes idóneos (Mtimet & Achica, 1995).



Figura 1. Nubes de polvo arrancado al suelo por el viento en la "dust bowl", Springfield, Colorado.

Fuente: Fig. 1 b. Depósito de partículas de suelo arrancadas por el viento en una granja de Texas que hubo de ser abandonada. Dorst, Jean. 1987. Antes que la naturaleza muera. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

La consecuencia de todo ello es la degradación del suelo por erosión o salinización y de la cubierta vegetal de los pastos por sobrepastoreo y extracción de leña (Aidoud & Touffet, 1996).

La región semiárida de las Grandes Llanuras de EEUU, es rica en mollisoles o 'tierras negras'. Muchos de sus pobladores son de origen ucraniano, donde cultivaban cereales sobre suelos parecidos. Lo mismo hicieron en su nuevo destino, cultivando las mejores tierras, hasta la primera guerra mundial. En ese momento, la demanda de cereales en Europa provocó un incremento de precios que a su vez, estimuló la extensión del cultivo en tierras frágiles (Blakenburn, 1993). El resultado fue el empobrecimiento del suelo y, más tarde, cuando en los años veinte sobrevino una sequía prolongada, el viento desmanteló lo que quedaba de la capa superficial, más rica, dando lugar a tormentas de polvo como no se habían visto antes. Estos hechos concienciaron a la opinión pública de la importancia de conservar el suelo y se iniciaron los primeros estudios experimentales para evaluar la erosión (Wischmeier, 1959) que más tarde han sido utilizados por las administraciones públicas de muchos países.

La vertiente oriental de los Andes, en la Patagonia y Pampas argentinas, presenta un clima semiárido debido a la sombra de lluvia de la cadena montañosa sobre los flujos de aire húmedo procedente del Pacífico. Sin embargo, por efecto del fenómeno de El Niño, las lluvias alcanzan periódicamente esa zona. La agricultura sigue estos vaivenes a lo largo de una franja que se cultiva y abandona periódicamente. El resultado es su progresiva degradación por efecto de prácticas agrícolas que atienden más a maximizar la producción inmediata que a la conservación del suelo.

El NW de China, en el bucle del río Amarillo (Mongolia Interior), es una región de clima semiárido cubierta por depósitos de arena fina transportada por fuertes vientos del NW. Se trata de una estepa utilizada por poblaciones pastoriles mediante ganadería extensiva. La administración china trata de liberar presión demográfica en el este del país estimulando la migración hacia el oeste y noroeste. Los inmigrantes son agricultores que establecen sus campos en la estepa, forzando a los pastores a concentrar sus ganados en las zonas libres. La consecuencia es el sobrepastoreo local que degrada la vegetación. La deflación por el viento moviliza la arena en las zonas afectadas, dejando parches desnudos en el pasto que crecen y se juntan entre sí hasta formar extensas zonas cubiertas de arena desnuda (Fullen & Mitchell, 1994).

¿EXISTE UNA ESTRUCTURA COMÚN SUBYACENTE A LOS ANTERIORES CASOS HISTÓRICOS?

La pregunta es relevante porque esos casos representan un amplio abanico de ejemplos de desertificación con causas y efectos muy distintos. Si fuera posible encontrar una estructura común, se facilitarían mucho la identificación de criterios y el desarrollo de modelos apropiados para comprender, de manera sistémica, el proceso de desertificación y para facilitar el diseño de instrumentos de diagnóstico y pronóstico.

En primer lugar, tenemos un sistema formado por la población humana y sus recursos locales (Fig. 2). Ese sistema presenta unas condiciones de contorno, constituidas por los factores biofísicos y socioeconómicos, que influyen en el mismo. La variabilidad 'normal' de esas condiciones, aquellas en que el sistema ha evolucionado, le mantienen en situación estacionaria.

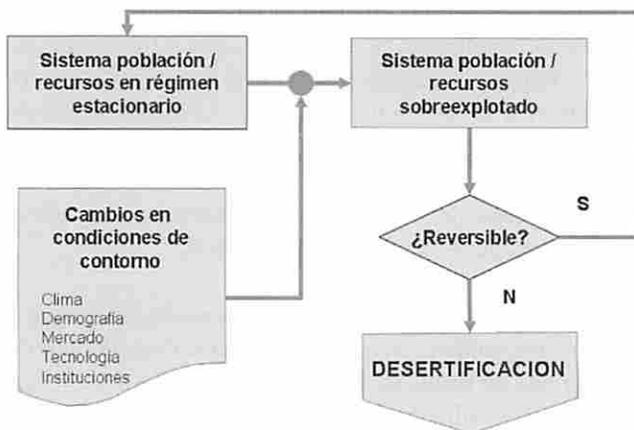


Figura 2. Modelo perceptual del proceso de desertificación.
Fuente: Modificado de Puigdefabregas, 1995.

Sin embargo, todos los casos examinados presentan, en algún momento, una anomalía en esos factores de contorno: fluctuación climática, demográfica, irrupción

de novedades tecnológicas, cambios en los mercados. Se trata de una anomalía que reúne algunas características específicas: es mayor a las experimentadas por el sistema a lo largo de su historia; puede ser bien una fluctuación, que retorna a las condiciones originales, o bien una rampa hasta alcanzar un nuevo nivel, superior o inferior al primitivo.

Con frecuencia, esta anomalía supone una mayor disponibilidad de recursos, sea por causa de un periodo húmedo o debido a la introducción de una nueva tecnología. La consecuencia es que el área afectada se convierte en un atractor de población y de capitales, que incrementan el nivel de explotación del recurso. La disponibilidad de este último desciende y también la cosecha o el retorno, en forma de ingresos, por unidad de producción.

Puede llegar un momento en que el nivel de explotación del recurso sea superior a la regeneración del mismo. Si la población dispone de mecanismos internos para disminuir o cesar el uso del recurso, el sistema puede retornar a su estado estacionario primitivo. De lo contrario, y eso es lo que ocurre en los casos de desertificación, eso no es posible, y la población humana no tiene otra opción que la de agotar los recursos de forma irreversible.

Tanto los ejemplos descritos, como el modelo perceptual de relaciones esbozado en la Figura 2, son casos especiales del sistema predador – presa, clásico en ecología, en los que el hombre es el predador y el recurso es la presa (May, 1973).

A modo exploratorio, se ha propuesto la formulación siguiente, basada en un modelo bien conocido, diseñado para describir el comportamiento de sistemas pastorales cerrados y unguados no territoriales (Caughley & Lawton, 1981) al que se ha añadido una ligera modificación para permitir la migración de unidades de producción hacia dentro y hacia fuera del sistema (Puigdefabregas, 1995).

El par de ecuaciones diferenciales acopladas que definen el sistema son las siguientes:

$$\frac{dR}{dt} = R r_1 \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) - H c_1 (1 - e^{-d_1 R})$$

$$\frac{dH}{dt} = H r_2 (1 - e^{-d_2 R}) - H c_2 + \frac{1}{k} \left(\frac{R}{H} - d_3 \right)$$

si $R/H > d_3 \Rightarrow k = k_1$; si $R/H < d_3 \Rightarrow k = k_2$. Donde R = recurso, H = población en términos de unidades de gestión, R_0 = capacidad de carga del recurso, r_1 = tasa intrínseca de crecimiento del recurso, c_1 = consumo máximo de recurso por unidad de población, modulado por d_1 = eficiencia en el aprovechamiento del recurso cuando éste es escaso, r_2 = tasa intrínseca de multiplicación de la población, en términos de unidades de gestión, modulada por d_2 = eficiencia demográfica cuando los recursos son escasos, c_2 = tasa de extinción de la po-

blación, en términos de unidades de gestión. La migración se describe en el tercer término de la segunda ecuación mediante la entrada o salida de población, en términos de unidades de gestión, controlada por el gradiente de concentración de recurso (R/H) y una resistencia al flujo (k) que puede ser diferente para la inmigración y la emigración (k_1 y k_2). Nótese que los parámetros (d_1 y d_2) idem engloban la tecnología disponible para controlar la eficiencia en el uso de los recursos y las estrategias de las empresas en cuanto al horizonte temporal de realización de beneficios (tasa de descuento).

Esta formulación es demasiado simple para su uso predictivo, pero permite analizar la interacción entre población y los recursos en el proceso de desertificación y soporta la interpretación de los casos anteriormente descritos.

En primer lugar, se da entrada a una perturbación que estimula la concentración demográfica y la explotación de los recursos en una zona determinada. Esa perturbación siempre es exógena al sistema considerado y forma parte de sus condiciones de contorno. Puede ser un incremento de la disponibilidad de recursos, ya sea por una fluctuación climática húmeda (Sahel) o por acceso a nuevas tecnologías (oasis en el norte de África). También pueden ser factores socioeconómicos que favorezcan una mayor tasa de crecimiento demográfico (norte de África), políticos, que estimulen la inmigración (NW de China), o cambios en las condiciones de mercado que fuercen el alza de los precios (EE.UU.).

En segundo lugar, si la perturbación es un pulso (clima, precios), las condiciones de contorno regresan a la situación inicial. Si se trata de una tendencia mantenida de explotación creciente, puede agotar o degradar los recursos (caso del crecimiento demográfico en el norte de África, de la Patagonia o del NW de China). En ambos casos, el sistema población/recursos carece de medios endógenos para reducir el nivel de explotación y, por lo tanto, el proceso prosigue en un bucle de retroacción positiva hasta acabar con los recursos y forzar el abandono de la población o la reconversión de su actividad. Esta última opción sólo es posible en países que dispongan de los recursos necesarios, y éste es el principal enlace entre desertificación y pobreza.

La permeabilidad de las fronteras del sistema población/recursos es un parámetro crucial para el desencadenamiento de la desertificación. La existencia de una mayor disponibilidad de recursos constituye un atractor de población e inversiones. Si la permeabilidad a la entrada de esos flujos es mayor que la de su salida, el riesgo de desertificación será mayor que si ocurre lo contrario. Esto explica por qué en territorios poco humanizados o en sistemas humanos nómadas son raros los fenómenos de desertificación. En esos casos, la presión sobre los recursos disminuye cuando se hace excesiva porque las poblaciones de consumidores emigran a otros lugares con mucha facilidad.

DESERTIFICACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

Existe una relación formal entre desertificación y sostenibilidad (Fig. 2). La primera comprende los procesos que inducen la segunda en zonas con gran variabilidad pluviométrica y riesgo crónico de sequía.

Para que un sistema de uso del suelo sea sostenible debe garantizar que no va agotar los recursos que lo soportan, es decir, que no sobrepasará la 'capacidad de carga' del territorio en el que opera. Además, debe cumplir con dos requisitos suplementarios: ser económicamente viable y minimizar la degradación del territorio en sentido amplio (Puigdefabregas, 1998). Veamos a continuación estos dos últimos aspectos con mayor detalle.

Sostenibilidad económica

Los sistemas de uso del suelo constituyen unidades de gestión, cuyas características dependen de las condiciones socioeconómicas locales, variando desde la agricultura de supervivencia hasta las empresas que actúan solamente en el marco del mercado. En todos los casos, deben asegurar a las poblaciones que dependen de ellos, niveles de vida aceptables en relación con las de su entorno. Si esta condición no se cumple, el sistema dejará de ser sostenible, por más que se mantengan los recursos naturales y su capacidad de regeneración.

Buena parte de la agricultura que hoy consideramos marginal, fue sostenible mientras los retornos que producía eran comparables a los promedios regionales, pero dejó de serlo cuando el nivel de vida general comenzó a subir, por más que en la mayoría de los casos la productividad biológica se mantuviera.

En ocasiones existen factores culturales o políticos sobrevenidos que determinan caídas de precios o de retornos para determinados productos y comprometen la sostenibilidad de los sistemas de uso del suelo que se basan en ellos. Basta citar, como ejemplo, los efectos de la Política Agraria Comunitaria de la Unión Europea, estimulando, sin pretenderlo explícitamente, usos del suelo insostenibles (Puigdefabregas y Mendizábal, 2004).

En otros casos, irrumpen otros cambios en las condiciones de contorno socioeconómicas que determinan variaciones de los costes de producción o de la capacidad de acceso a los recursos. Un ejemplo, recientemente estudiado, en el Mediterráneo occidental (Puigdefabregas y Mendizábal, 2006) se refiere a las migraciones y su impacto sobre la sostenibilidad de los sistemas agrarios emisores y receptores de población.

Los autores comparan oasis en el Maghreb, fuentes de emigración y receptores de remesas económicas de sus emigrantes, con sistemas agrarios de regadío en Almería, muy intensivos y receptores de inmigración. Las conclusiones señalan que en ambos casos se incrementa el riesgo de pérdida de sostenibilidad y por tanto, de desertificación. En Almería, el aumento de oferta de mano

de obra determina la caída de los costes de producción y por ende, el aumento de superficie irrigada y la disminución de la reserva hídrica. En el Maghreb, los ingresos en forma de remesas, incrementan la capacidad de inversión de las familias y, en consecuencia, el cambio de la agricultura tradicional, predominantemente cooperativa, muy rica en normativas comunes, a otra competitiva, individualista, en la que cada familia instala sus propios sistemas de bombeo y uso del agua (de Haas, 2003). Esta nueva estrategia conlleva el descenso de nivel en los acuíferos y la salinización de los suelos.

Por último, debemos mencionar las consecuencias de fluctuaciones climáticas de magnitud superior a las normalmente experimentadas por los sistemas de uso afectados. Como antes se ha indicado, semejantes condiciones pueden llevar a una disminución de retornos tan fuerte que comprometa la sostenibilidad de tales sistemas.

Sostenibilidad ecológica

Los sistemas de uso del suelo sostenibles, además de ser económicamente viables, deben minimizar la degradación de los recursos naturales renovables. Por degradación se entiende no solo el agotamiento y ruina del sistema productivo, sino la pérdida de un conjunto de condiciones sociales y culturales que abarcan un contexto más general que el de la unidad de gestión individual (Puigdefabregas, 1998).

La sostenibilidad supone minimizar los efectos *ex situ* indeseables, tales como el deterioro del balance hídrico, la emisión de contaminantes y de sedimentos. Por ejemplo, los sistemas agrarios que estimulan la generación de escorrentía rápida en detrimento de la recarga de acuíferos, comprometiendo así la disponibilidad de agua en territorios vecinos, no pueden calificarse de sostenibles.

La pérdida de opciones futuras de uso del territorio, también puede considerarse una forma de degradación que convierte en insostenible un uso determinado del suelo (Pickup & Stafford-Smith, 1993). El ejemplo más extremo es la urbanización, la cual descarta toda opción alternativa en el futuro. Otro ejemplo menos duro puede ser el desmonte para usos agrarios o pastorales. Éste podrá suponer degradación si compromete la eficiencia del área como captadora de agua, destruye sus opciones turísticas o no preserva funciones ecológicas relevantes, siendo todo ello socialmente deseable, y el desmonte no es reversible.

PROBLEMAS Y RETOS PARA UNA CORRECTA EVALUACIÓN DE LA DESERTIFICACIÓN

Tal como se ha expuesto, existe ya un consenso, sobre la estructura del proceso de desertificación, atestiguado por numerosos casos bien documentados. Sin embargo, el desarrollo de procedimientos de diagnóstico basados

en esa estructura, todavía precisa resolver algunos aspectos, principalmente relacionados con la evaluación de la degradación de tierras y la existencia de umbrales en los efectos de la presión humana sobre los recursos naturales renovables.

Evaluación de la degradación de tierras

Toda vez que la principal consecuencia de la desertificación es la degradación de tierras, el diagnóstico de aquella requiere criterios consistentes para evaluar ésta. En el marco de UNCCD, la degradación se define como 'la pérdida de productividad biológica, económica y de complejidad de la tierra', entendiendo por 'tierra' el conjunto de componentes del paisaje (suelo, vegetación, aguas, etc.). Se trata de un concepto holístico que no puede abarcarse con métodos tradicionales, basados en la adición de atributos descriptivos de estados del suelo, tales como erosión, compactación, salinización, disponibilidad de nutrientes, etc.

Recientemente se desarrollan nuevas aproximaciones que definen índices basados en funciones ecosistémicas, tales como la productividad, la eficiencia en el uso del agua o la estructura espacial. Estos índices tienen dos ventajas. La primera es que representan atributos directamente asociados al grado de madurez del ecosistema, el cual es inversamente proporcional a la degradación. La segunda es que utilizan datos de teledetección, y, por lo tanto, su aplicación es poco costosa y puede abarcar grandes extensiones.

La tasa de productividad neta (Prince, 2002) se obtiene a partir de modelos del ciclo del carbono. Son de inmediata interpretación pero, debido al número y especificidad de los datos que requieren, solo pueden aplicarse a resoluciones espaciales inferiores a 1 km, y a causa de la complejidad de los modelos ecofisiológicos subyacentes, son muy propensos a la propagación de errores.

La eficiencia en el uso del agua (Boer & Puigdefabregas, 2004) se basa en la idea de que cuanto mayor sea la degradación de un área determinada, menor será la proporción de precipitación que podrá evaporar. En consecuencia, el cociente entre evaporación y precipitación será inferior al de áreas no degradadas.

La estructura espacial de algunos atributos relevantes del paisaje cambia según progresa su degradación. Esa modificación se manifiesta tanto en el 'grano' del mosaico espacial, como en la intensidad de las diferencias entre sus fases. Por ejemplo, los efectos de la heterogeneidad espacial del relieve y el suelo sobre la estructura espacial de la vegetación se expresan tanto más cuanto más avanzada está la degradación. Esta aproximación es atractiva, directa y poco exigente en términos de parámetros y de asunciones intermedias. Sin embargo, su estado de desarrollo es aun preliminar. Se ha aplicado en las estepas australianas con escaso relieve (Pickup *et al*, 1998) pero no en regiones de topografía compleja, como la Mediterránea.

Determinación de umbrales

La disyunción que presenta el modelo perceptual de desertificación (Fig. 2) indica existencia de umbrales cuyo desbordamiento supone que el sistema población/recursos entra en un proceso irreversible de desertificación. Pueden distinguirse dos grupos de umbrales, los que afectan a la trayectoria de la población y los que interesan a la de los recursos.

De forma muy simplificada, la trayectoria de la población se considera controlada por (i) la disminución de los ingresos *per cápita* por debajo del promedio de su entorno regional y (ii) la existencia de un mecanismo de regulación común que le permita disminuir la presión sobre los recursos cuando se detecta riesgo de sobreexplotación. El primero es de carácter universal y tiene que ver con el 'coste de oportunidad' manejado por los economistas. El segundo es muy efectivo, pero sólo se da en aquellas poblaciones tan adaptadas a su medio que han desarrollado normativas comunes de carácter cooperativo, como es el caso de los oasis, antes mencionados.

Los umbrales en la trayectoria de los recursos son más difíciles de determinar, pero generalmente se basan en el cociente entre las tasas de renovación y de explotación de cada uno de ellos. Una dificultad adicional es que con frecuencia la tasa de renovación no depende sólo del balance entre entradas y salidas (regeneración y pérdidas por mortalidad y abstracción). La heterogeneidad de la estructura espacial es un factor importante de resiliencia, que disminuye la mortalidad. Ante la irrupción de perturbaciones (sequías, plagas, etc.) la vegetación con estructura espacial compleja (alta diversidad) será más resistente, debido a mayor variabilidad de la respuesta de sus elementos espaciales (Wiegand, 1995).

CONCLUSIONES

Debido a la multiplicidad de situaciones locales, el diagnóstico y evaluación de la desertificación ha precisado mucho tiempo para pasar de las aproximaciones sintomáticas a las causales. A pesar de haber avanzado sustancialmente en la definición de sistemas de referencia, los modelos e instrumentos disponibles no son aun operativos. De hecho, conseguir esa operatividad es el principal objetivo del mayor esfuerzo realizado por la Comisión Europea en ese campo¹.

Los instrumentos de diagnóstico deben incluir la dinámica conjunta de las condiciones de contorno (climáticas y socio-económicas) y de los sistemas de uso del suelo en su marco biofísico. Para ello, se precisa establecer y actualizar los modelos perceptuales, que resistan el contraste con los nuevos casos y observaciones disponibles.

Por otra parte, es necesario un considerable esfuerzo de síntesis a fin de definir los sistemas apropiados y

modelar su comportamiento en forma de síndromes de desertificación. Para alcanzar progresos significativos, es imprescindible avanzar en la consecución de un lenguaje común entre especialistas en ecología, agricultura y economía.

REFERENCIAS

- Aidoud, A., Touffet, T. (1996): "La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes", en: *Sécheresse*, 7 (John Libbey): 187-193.
- Blakenburn, P. (1993): The American experience in combating desertification and its impacts. Information Sharing Segment. First Substantive Nairobi Session. Secretariat of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Convention to Combat Desertification. INCD-UN, 271-278. Geneva.
- Boer, M. and Puigdefabregas, J. (2005): Assessment of dryland condition using spatial anomalies of vegetation index values. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (18), 4045-4065.
- Caughley, G. & Lawton, J.H. (1981): Plant Herbivore Systems. In: *Theoretical Ecology. Principles and Applications*. May, R.M. (ed.), Blackwell Scientific Publishers, Oxford, 132-166.
- De Haas, H. (2003): Migration and development in Southern Morocco. Ph.D. Thesis Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Dorst, J. (1987): *Antes que la naturaleza muera*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
- Fullen, M.A. & Mitchell, D.J. (1994): Desertification and Reclamation in North-Central China. *Ambio*, 23: 131-135.
- Geist, H. (2005): The causes and progression of desertification. Ashgate Studies in Environmental Policy and Practice. Ashgate Publishing Ltd.
- Ibáñez, J., Martín, S. & Martínez, J. (2004): Competitive and optimal control strategies for groundwater pumping by agricultural production units. *Water Resources Research*, 40, W03402, 1-11.
- Le Houérou, H.N. (1992): Vegetation and Land Use in the Mediterranean Basin by the Year 2050: A Prospective Study. In *Climatic Change in the Mediterranean*, L. Jeltic, J.D. Milliman and G. Sestini (ed.). Edward Arnold (Hodder & Stoughton). London: 175-232.
- May, R.M. (1973): *Stability and complexity in Model Ecosystems*. Monographs in Population Biology, 6. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Mtimet, A., Hachicha, M. (1995): "Salinisation et hydromorphie dans les oasis tunisiennes", en: *Sécheresse*, 6(4): 319-324.
- Pickup, G. & Stafford-Smith, D.M. (1993): Problems, prospects and procedures for assessing the sustainability of pastoral land management in arid Australia. *Journal of Biogeography*, 20 (5), 471-487.
- Pickup, G.; Bastin, G.N. & Chewings, V.H. (1994): Remote-sensing-based condition assessment for nonequilibrium ran-

¹ DeSurvey (A Surveillance System for Assessing and Monitoring of Desertification): www.desurvey.net

- gelandas under large-scale commercial grazing. *Ecological Applications*, 4 (3): 497-517.
- Prince, S.D. (2002): Spatial and temporal scales for Detection of Desertification. In J.F. Reynolds and D.M. Stafford Smith (eds.). *Global Desertification, Do Humans cause Deserts?* Dahlem Workshop Report 88. Dahlem University Press.
- Puigdefabregas, J. & Mendizábal, T. (2004): Prospects of desertification impacts in Western Europe. In: A. Marquina (ed.). *Environmental Challenges in the Mediterranean 2000.2050*. NATO Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences, 37: 155-174.
- Puigdefabregas, J. & Mendizábal, T. (2006): Desertification and migrations in Western Mediterranean: Environmental outcomes of the inverse flow of people and capital. 2nd International Symposium on desertification and migrations, United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) Proceedings (full texts in CD). Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de la Biodiversidad, Madrid.
- Puigdefabregas, J. (1995): Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure. *Ambio*, 24: 311-313.
- Puigdefabregas, J. (1998): Variabilidad climática y sus consecuencias sobre la sostenibilidad de los sistemas agrarios. In: *Agricultura Sostenible*. Jiménez Díaz, R. & Lamo de Espinosa, J. (eds). 41-70. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Puigdefabregas, J. (2005): Desertificación, un fenómeno global que afecta a España. *Acta Científica y Tecnológica*, 9: 19-23. Madrid.
- Thebaud, B. (1993): Causes et consequences de la désertification au Sahel de l'Ouest: Essai d'interprétation. International Panel of Experts. Secretariat of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Convention to Combat Desertification. INCD-UN, p. 7. Geneva.
- UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in África. UNCCD Secretariat. Bonn (available at <http://www.unccd.int>).
- Wiegand, T., Milton, S. & Wissel, C. (1995): A simulation model for shrub ecosystem on the semi-arid karoo, South Africa. *Ecology*, 7: 2205-2022.

Juan Puigdefabregas

Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC)

Matemáticas

Estadística Bayesiana: la incorporación de la experiencia al análisis de datos

En este trabajo se pretende describir los conceptos básicos de la *estadística bayesiana*. Su nombre hace referencia al conocido teorema de Bayes, en el que esta metodología tiene su fundamento y su origen. Se trata de una sencilla fórmula matemática que muestra, en términos de probabilidades, cómo se conjuga la observación de unos datos con la información que, por la experiencia previa, se tenga sobre las posibles causas que los producen.

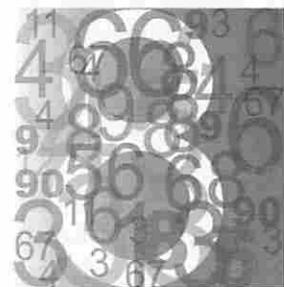
El teorema de Bayes se debe al matemático inglés Thomas Bayes y fue publicado en 1763.



Thomas Bayes (1702-1761)

A partir de ese germen inicial, se fue desarrollando la metodología bayesiana, hasta llegar a constituir hoy una rama de la matemática con entidad propia. Se celebran periódicamente congresos internacionales de metodología bayesiana, en los que intercambian resultados muchos de los especialistas que trabajan en ella. Son especialmente significados los *Valencia International Meetings on Bayesian Statistics*, organizados por el Profesor J. M. Bernardo y copatrocinados por la Universidad de Valencia y la *International Society for Bayesian Analysis* (ISBA).

Bayesian Statistics
VALENCIA 8



ISBA 2006

Logotipo de Valencia 8

1. EL PLANTEAMIENTO BAYESIANO

En un problema de inferencia estadística hay una cantidad, un *parámetro*, desconocido por el investiga-