



# ¿Se puede cartografiar la desertificación? Luces y sombras de una tarea desafiante

Jaime Martínez-Valderrama<sup>1,\*</sup> , Emilio Guirado<sup>1</sup> , Fernando T. Maestre<sup>1,2</sup> 

(1) Instituto Multidisciplinar para el Estudio del Medio "Ramón Margalef", Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, España.

(2) Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, España.

\* Autor de correspondencia: Jaime Martínez-Valderrama [[jaime.mv@ua.es](mailto:jaime.mv@ua.es)]

> Recibido el 15 de abril de 2021 - Aceptado el 22 de septiembre de 2021

**Como citar:** Martínez-Valderrama, J., Guirado, E., Maestre, F.T. ¿Se puede cartografiar la desertificación? Luces y sombras de una tarea desafiante. *Ecosistemas*. *Ecosistemas* 30(3): 2211. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2211>

## ¿Se puede cartografiar la desertificación? Luces y sombras de una tarea desafiante

**Resumen:** La desertificación es un fenómeno complejo con múltiples caras. Han existido numerosos intentos por cartografiarla. Sin embargo, ninguna de las aproximaciones se ha consolidado y los criterios y metodologías han cambiado con los años. La falta de robustez hace que la interpretación de estos mapas sea confusa y poco operativa. En este trabajo repasamos sucintamente las tentativas por plasmar en un mapa este complejo problema medioambiental, analizamos sus dificultades y mostramos las últimas tendencias. El último Atlas Mundial de Desertificación, publicado en 2018 por la Comisión Europea, renuncia a ello y propone un enfoque alternativo. Su propuesta es identificar aquellos lugares que pueden ser más proclives a la degradación al coincidir en ellos una serie de factores que amenazan el equilibrio entre el uso de recursos y su regeneración. La creciente disponibilidad de recursos cartográficos abre las puertas a nuevos enfoques. Sin embargo, este enorme potencial de datos debe conjugarse con una clara concepción del problema, distinguiendo entre mapear el estado de desertificación o su riesgo y determinando, con la mayor objetividad posible, los umbrales de degradación que dan lugar a una degradación persistente.

**Palabras clave:** degradación; riesgo; aridez; convergencia de la evidencia; usos del suelo

### Can desertification be mapped? Lights and shadows of a challenging task

**Abstract:** Desertification is a complex and multi-faceted phenomenon. There have been many attempts to map it. However, none of the approaches used over the years has been consolidated, and the criteria and methodologies have changed over the years. This lack of robustness makes the interpretation of these maps confusing and not very operational. In this paper we briefly review the attempts to map this complex environmental problem, analyze its difficulties and show the latest trends. The latest World Atlas of Desertification, published in 2018 by the European Commission, renounces this and proposes an alternative approach. Its proposal is to identify those sites that may be most prone to degradation due to a combination of factors that threaten the balance between resource use and regeneration. The increasing availability of spatial databases opens the door to new approaches. However, this large potential of data must be combined with a clear understanding of the problem, distinguishing between mapping the state of desertification or its risk and determining, as objectively as possible, the thresholds of degradation that lead to persistent degradation.

**Keywords:** degradation; risk; aridity; convergence of the evidence; land-use

## Mapas de desertificación

Las tierras secas, aquellas que tienen un índice de aridez (IA, obtenido a partir del cociente entre la precipitación anual media y la evapotranspiración potencial media) inferior a 0.65 (UNEP 1992), ocupan el 37.2% de la superficie terrestre, y albergan más del 35% de la población total del planeta (Cherlet et al. 2018). En muchas de estas zonas, ciertos cambios demográficos, tecnológicos y socioeconómicos se han unido al cambio climático para ejercer una presión excesiva sobre los recursos naturales. Ello ha desencadenado intensos procesos de degradación del suelo y de la cubierta vegetal, así como de procesos biogeoquímicos e hidrológicos asociados (D'Odorico et al. 2013; Bestelmeyer et al.

2015). El resultado es una pérdida de productividad biológica y socioeconómica que han derivado en su desertificación (Puigdefabregas 1995; Reynolds 2001).

La desertificación se define formalmente como "la degradación de las tierras áridas, semiáridas y sub-húmedas secas como consecuencia de variaciones climáticas y actividades humanas inadecuadas" (UN 1994). La consolidación del concepto de desertificación llevó décadas (Reynolds et al. 2007) y no fue hasta la Cumbre de Río de 1992 cuando su definición fue consensuada dentro de una de las tres grandes Convenciones auspiciadas por la ONU que se acordaron. Con ello se lanzaba un mensaje contundente: la desertificación era uno de los grandes problemas medioambientales de nuestra época.

En el pasado la desertificación había arruinado la prosperidad de importantes civilizaciones, como fue el caso de los sumerios (Jacobsen y Adams 1958). Se ha documentado, mediante registros de polen, que en el 2400 A.C. aparecieron los primeros problemas de salinidad del suelo debido a una mala gestión del riego. Los problemas continuaron y ni siquiera el cambio a cultivos más tolerantes a la salinidad del suelo (se fue sustituyendo el trigo por la cebada) evitó el declive agrícola, en primer lugar, y el de la sociedad sumeria en último (Thomas y Middleton 1994). No fue hasta la catástrofe humanitaria del Sahel, a principios de los setenta (Sinclair y Fryxell 1985), cuando se mostró una enorme preocupación a nivel mundial por las consecuencias de la sobreexplotación de recursos en las tierras secas. En 1977 se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación, y para ello se preparó el primer Atlas Mundial de Desertificación (AMD) (FAO et al. 1977), que mostraba el riesgo de que se diese este problema (Fig. 1). Este hecho denotaba las prioridades a la hora de abordar problemas medioambientales de carácter global: detectar dónde ocurren y evaluar su magnitud. La importancia de los mapas quedó refrendada con el segundo AMD, realizado por el Programa Medioambiental de Naciones Unidas con motivo de la Cumbre de Río (UNEP 1992). Más allá de una edición de mayor calidad, con mapas a color, no supuso ningún avance conceptual (Grove 1999). En 2018 la Comisión Europea publicó el tercer y, hasta la fecha, último AMD (Cherlet et al. 2018). Paradójicamente, en él no encontramos ningún mapa de desertificación. Sin embargo, la obra es un compendio cartográfico en el que se detallan otros muchos aspectos relacionados con este importante problema, como la aridez, la erosión, la productividad

primaria, la cabaña ganadera, la población y otras muchas variables físicas y socioeconómicas. Ya el Millenium Ecosystem Assessment manifestaba, trece años antes, que “Los intentos de cartografiar la desertificación son a menudo insatisfactorios” (MEA 2005). En este trabajo repasamos sucintamente las tentativas por plasmar en un mapa este complejo problema medioambiental, analizamos sus dificultades y mostramos las últimas tendencias.

## Mapas basados en estimaciones y observaciones de campo

El segundo AMD (UNEP 1992), basado en el Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) (Oldeman et al. 1991) y las estimaciones a nivel nacional de Dregne y Chou (1992), aportaron cifras de desertificación muy altas y poco verosímiles. Así, el alcance de la desertificación se llegó a estimar en un 70% de las tierras secas (UNEP 1991; Zonn et al. 2017). Estas aproximaciones se centraron en considerar la erosión del suelo (una variable que es difícil de medir y cuyo modelado ofrece tantas variantes como resultados posibles) y la opinión de expertos, siendo los últimos influenciados por los verdes paisajes de sus lugares de origen. La mayor parte de las tierras áridas pueden dar una impresión “desértica” a cualquier viajero occidental (los franceses y anglosajones fueron los primeros en estudiar la desertificación) durante la estación seca o durante los períodos de sequía. El sesgo con el que se evaluaban estos territorios los llevaba a considerar que estaban por debajo de su potencial y que se habían degradado (Olsson 1993), cuando en realidad en muchos casos el territorio no podía despla-

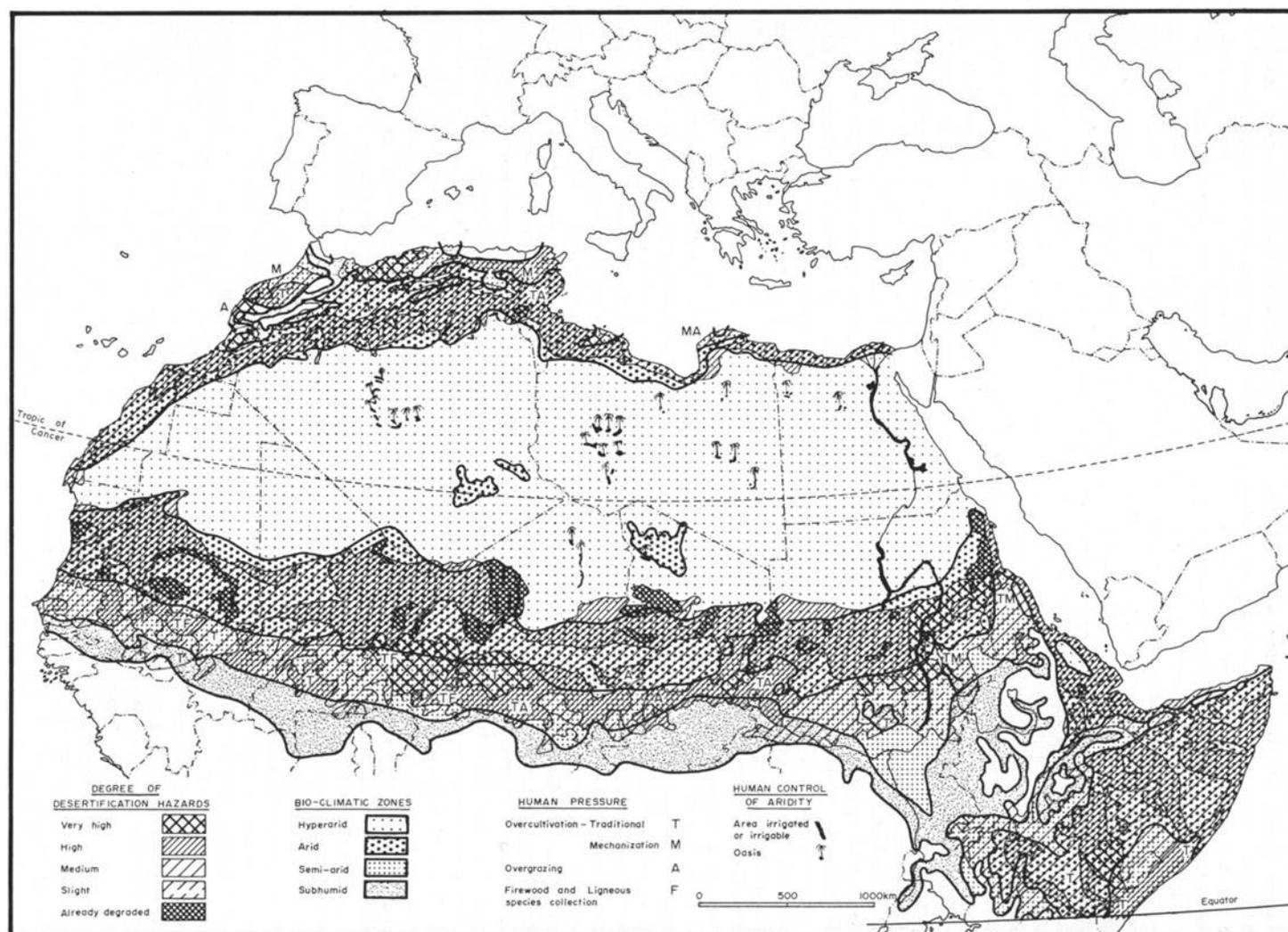


Figura 1. Mapa del riesgo de desertificación del primer Atlas de Desertificación (obtenido de Mabbutt 1978).

Figure 1. Desertification risk map from the first Desertification Atlas (from Mabbutt 1978).

gar una vegetación más tupida debido a las restricciones hídricas del lugar. Eso los llevaba a interpretar la escasez de vegetación, propia de las zonas secas, como estados de degradación más o menos avanzados. Por ejemplo, para Argelia se estimó que el 93% de sus tierras de cultivo estaban desertificadas, mientras que la FAO mostraba datos de incremento de los rendimientos agrícolas de 400 – 600 kg/ha (MEA 2005). Los resultados, a falta de algo mejor, se utilizaron con profusión tanto en ámbitos académicos como políticos, aunque los propios autores cuestionasen su validez al afirmar que: «La base de información sobre la que se hicieron las estimaciones es deficiente: los relatos anecdóticos, los informes de investigación, las descripciones de viajeros, las opiniones personales y la experiencia local proporcionaron la mayor parte de las evidencias utilizadas» (Dregne y Chou 1992).

En esencia, hay dos grandes inconvenientes cuando se pretende cartografiar la desertificación, uno relacionado con su elaboración y otro con su interpretación. La primera confusión aparece al tratar de diferenciar entre desertificación y riesgo de desertificación. Los mapas del primer tipo son una foto fija de la situación, es decir, tratan de presentar la degradación de las tierras secas mediante diversos procedimientos. Para lo segundo es necesario considerar las causas de la desertificación y hacer un pronóstico sobre su evolución, determinando la probabilidad de que se produzca la desertificación. En ambos casos es necesario, adicionalmente, definir «degradación», es decir, establecer los umbrales a partir del cual la pérdida cuantitativa y cualitativa de un recurso (agua, suelo, vegetación o biodiversidad) deriva en la desertificación de un territorio.

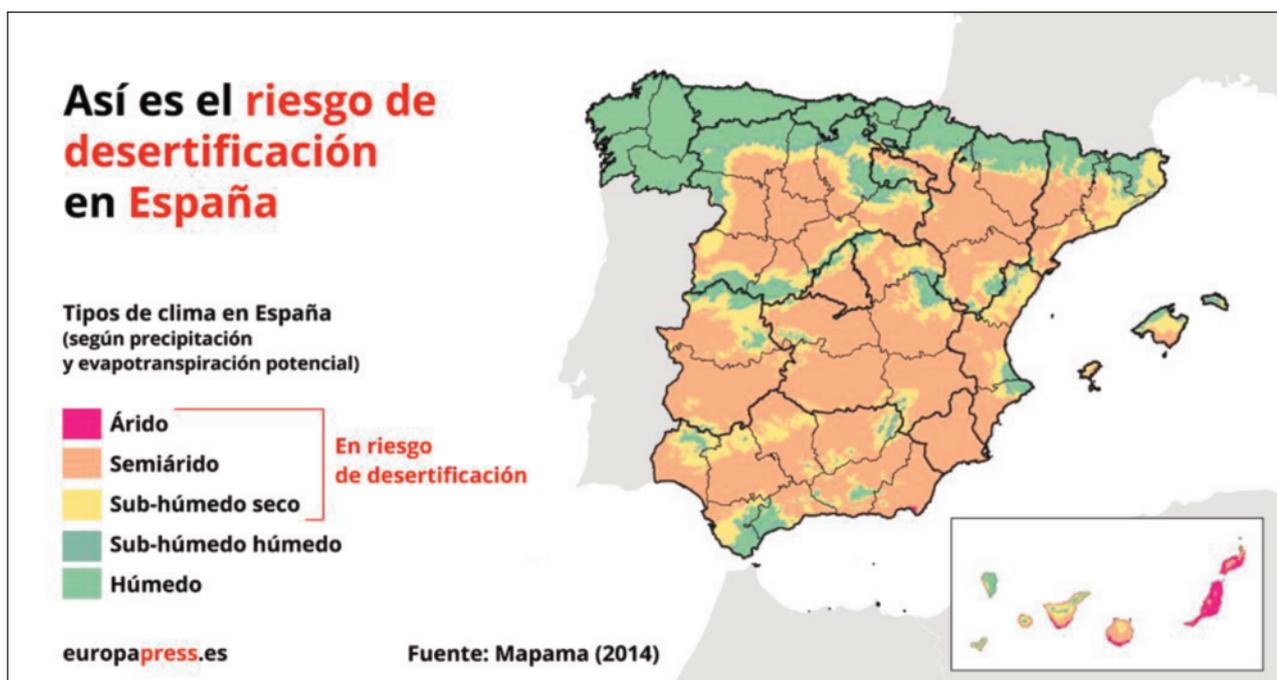
El otro problema es la interpretación errónea de los mapas de desertificación. Una confusión habitual es hacer equivalente el mapa de aridez con el de desertificación (Fig. 2). Así, el gradiente de colores con el que se definen las categorías de aridez se suelen confundir con el grado de desertificación o con el riesgo de desertificación. Sin embargo, la aridez de un territorio únicamente define el marco territorial en el que puede ocurrir la desertificación. Si bien es cierto que una mayor aridez implica menos cantidad de precipitación, una mayor variabilidad espacial y temporal en su distribución, o mayores tasas de evaporación, y que, por tanto, a mayor aridez mayor vulnerabilidad, para hablar de desertificación se requiere el componente humano, esto es, el ritmo de explotación de los recursos naturales en esas zonas áridas.

## El MEDALUS y la desertificación en España

El Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) (MAGRAMA 2008) elaboró un mapa de riesgo de desertificación en España (Fig. 3) inspirándose en el modelo MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) (EC-European Commission 1999). En esencia, esta metodología, que aún se aplica en muchos lugares (Lahlaoui et al. 2017), calcula el riesgo de desertificación agregando una serie de factores relacionados con la desertificación (suelo, clima, vegetación y gestión). En concreto, el mapa del PAND es una simple operación de álgebra para sumar el efecto de cuatro factores (aridez, erosión, uso de acuíferos y superficie quemada por incendios forestales), excluyendo la posibilidad de una sinergia entre ellos. Por ejemplo, en un territorio con mayor aridez, y por tanto con menores tasas de productividad, la pérdida de suelo tiene un mayor impacto que en zonas menos áridas, puesto que las tasas de formación de suelo son menores. Este tipo de interacciones no son consideradas mediante este método. Además, se ignoran las causas del problema. No hay ninguna variable que represente la superficie de regadío, que es la que explica el deterioro de las masas de agua subterránea (De Stefano y Lopez-Gunn 2012), ni ningún otro uso del suelo o variable que pueda explicar los motivos de la desertificación (Cherlet et al. 2018).

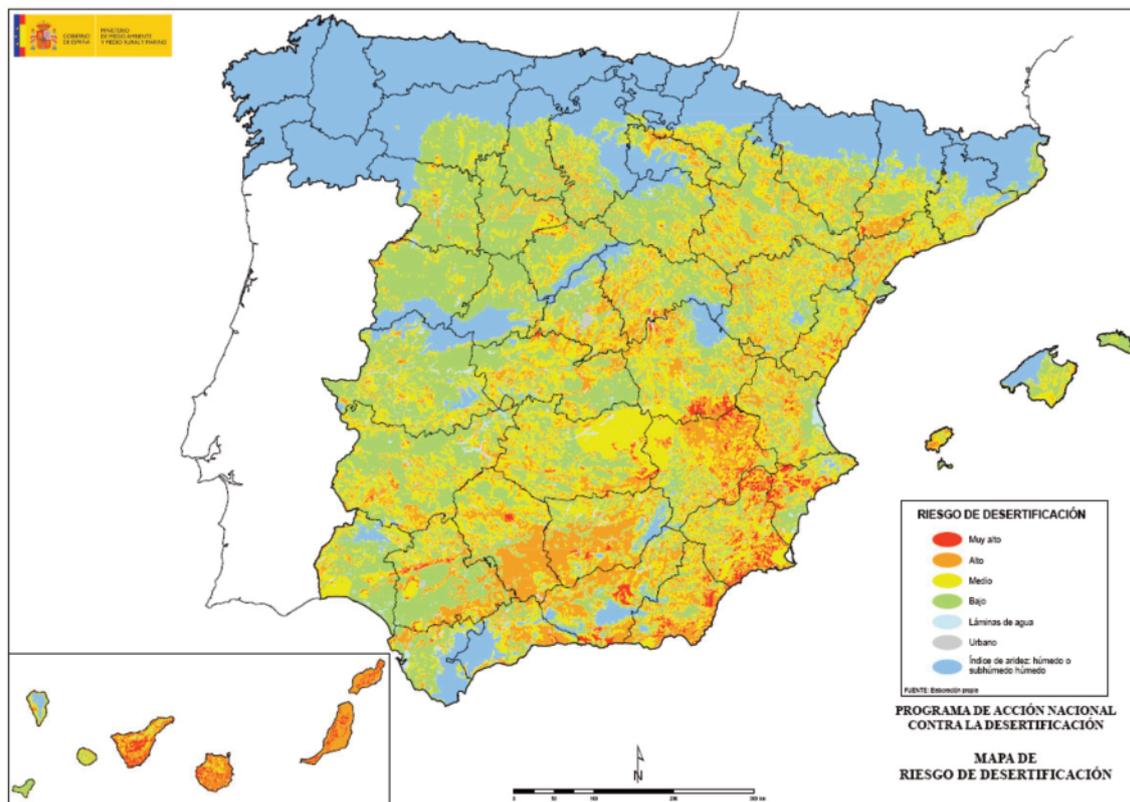
Las cuatro variables consideradas en el PAND se baremaron de acuerdo a una serie de criterios subjetivos (Tabla 1). Por ejemplo, cuando la erosión del suelo estimada por el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (USDA 1997) está comprendida entre 12 y 25 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el peso del factor erosión es 2. Si en ese pixel hay una masa de agua subterránea sobreexplotada se añade un punto y si el porcentaje de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años (variable un tanto intrincada) supera el 10%, tenemos otro punto. Por último, el grado de aridez suma un punto si es semiárido y dos si es árido (el sub-húmedo seco no penaliza). Como se puede deducir, a más puntos, más riesgo de desertificación.

Este tipo de mapas han de tomarse como los primeros intentos para abordar y acotar el problema, pero requieren profundas reformas conceptuales para dar una idea precisa del problema. Para explicitar el grado de desertificación es preferible utilizar medidas objetivas de degradación en lugar de apoyarse en modelos como los



**Figura 2.** Noticia en la que se equipara la aridez con el riesgo de desertificación. Fuente: RTVE (<https://www.rtve.es/noticias/20190617/75-del-territorio-espanol-esta-peligro-desertificacion-segun-wwf/1958043.shtml>).

**Figure 2.** News item equating aridity with risk of desertification. Source: RTVE (<https://www.rtve.es/noticias/20190617/75-del-territorio-espanol-esta-peligro-desertificacion-segun-wwf/1958043.shtml>).



**Figura 3.** Mapa del riesgo de desertificación en España del PAND (MAGRAMA 2008).

**Figure 3.** Map of desertification risk in Spain from PAND (MAGRAMA 2008).

**Tabla 1.** Criterios que utiliza el PAND para determinar los pesos de cada factor en la estimación del riesgo de desertificación. (MAGRAMA 2008).

**Table 1.** Criteria used by PAND to determine the weights of each factor in the estimation of desertification risk. (MAGRAMA 2008).

Erosión (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		Porcentaje de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años		Sobreexplotación de acuíferos		Aridez	
>25	3	>10%	1	Con sobreexplotación	1	Zonas áridas	2
12-15	2	<10%	0	Sin sobreexplotación	0	Zonas semiáridas	1
<12	1					Zonas subhúmedas secas	0

de erosión, que pueden tergiversar los resultados obtenidos. Por ejemplo, el riesgo de desertificación en España disminuyó cuando se actualizó el PAND con la información proporcionada por del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (MITERD 2012). Este inventario está basado en el modelo RUSLE, en lugar del USLE (Universal Soil Loss Equation) (ICONA 1988), y en general da estimaciones menores de erosión. En segundo lugar, para hablar de riesgo (en el sentido de probabilidad de que suceda algo) es necesario incorporar la evolución de las fuerzas motrices del problema (cambio climático, mercados, población, etc.) y evaluar cómo afectan a un sistema bajo diversos escenarios (Martínez-Valderrama et al. 2016). Aunque el uso de previsiones añade incertidumbre, considerar que indicadores como la tasa de erosión media anual permanezca invariable en el futuro es inverosímil. La erosión podrá variar porque lo haga la cobertura vegetal (Elwell y Stocking 1976), y ésta puede hacerlo porque la carga ganadera cambie, lo cual podrá deberse, a su vez, a cambios en los precios de los mercados ganaderos o del uso de piensos (Ibáñez et al. 2016). El tiempo que se tarda en perder 75 cm de suelo en el caso de cultivos herbáceos puede variar entre 200 años cuando se considera una tasa de erosión constante y 26 años cuando ésta se hace dinámica (Ibáñez et al. 2015).

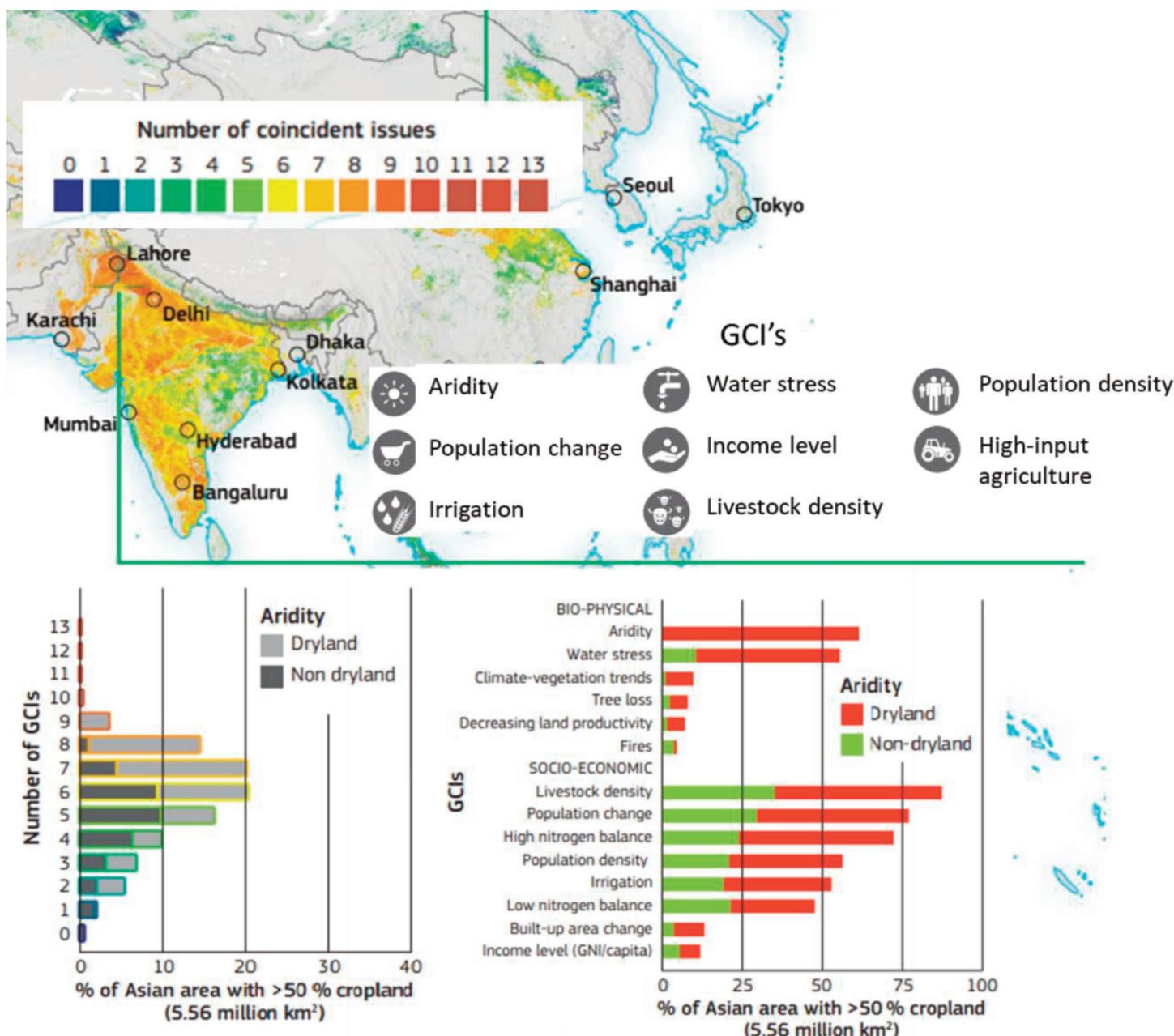
## Convergencia de la evidencia

La última versión del AMD (AMD-3) ha roto con la tendencia de hacer mapas de desertificación. El argumento esgrimido es que gran parte de los problemas de degradación está entrelazado con la realidad política, social y cultural, tanto a nivel local como regional, lo que hace que «la desertificación no pueda ser modelada o cartografiada a nivel global» (Cherlet et al. 2018). La alternativa propuesta es identificar aquellos lugares que pueden ser más propensos a la degradación al coincidir en ellos una serie de factores (se consideran hasta catorce, pero no se descartan incluir más a medida que haya más información) que amenazan el equilibrio entre el uso de recursos y su regeneración. Estos mapas se construyen utilizando dos tipos básicos de datos disponibles a nivel global: el uso del suelo y aspectos relacionados con el cambio ambiental global que están sufriendo los ecosistemas terrestres. Los «puntos calientes» del planeta se identifican por la acumulación de factores (Global Change Issues, GCI) que superen determinados umbrales. Para ilustrar el concepto del AMD-3, se muestra el mapa temático relacionado con la problemática de los cultivos intensivos (Fig. 4). En los píxeles donde más del 50% de su superfi-

cie hay cultivos intensivos se ha representado el número de GCI coincidentes. En el caso de Lahore (India) confluyen 8 GCI's (ver leyenda a la izquierda) y, por tanto, se señala como una zona en la que se debe hacer un seguimiento y análisis de los motores de desertificación que puedan estar desarrollándose (aportando las singularidades del lugar y el contexto socioeconómico). Al detectar las causas concretas que apuntan hacia la degradación es posible diseñar estrategias que puedan reconducir la situación. Además, los mapas muestran las distribuciones continentales sobre la convergencia de los GCI's.

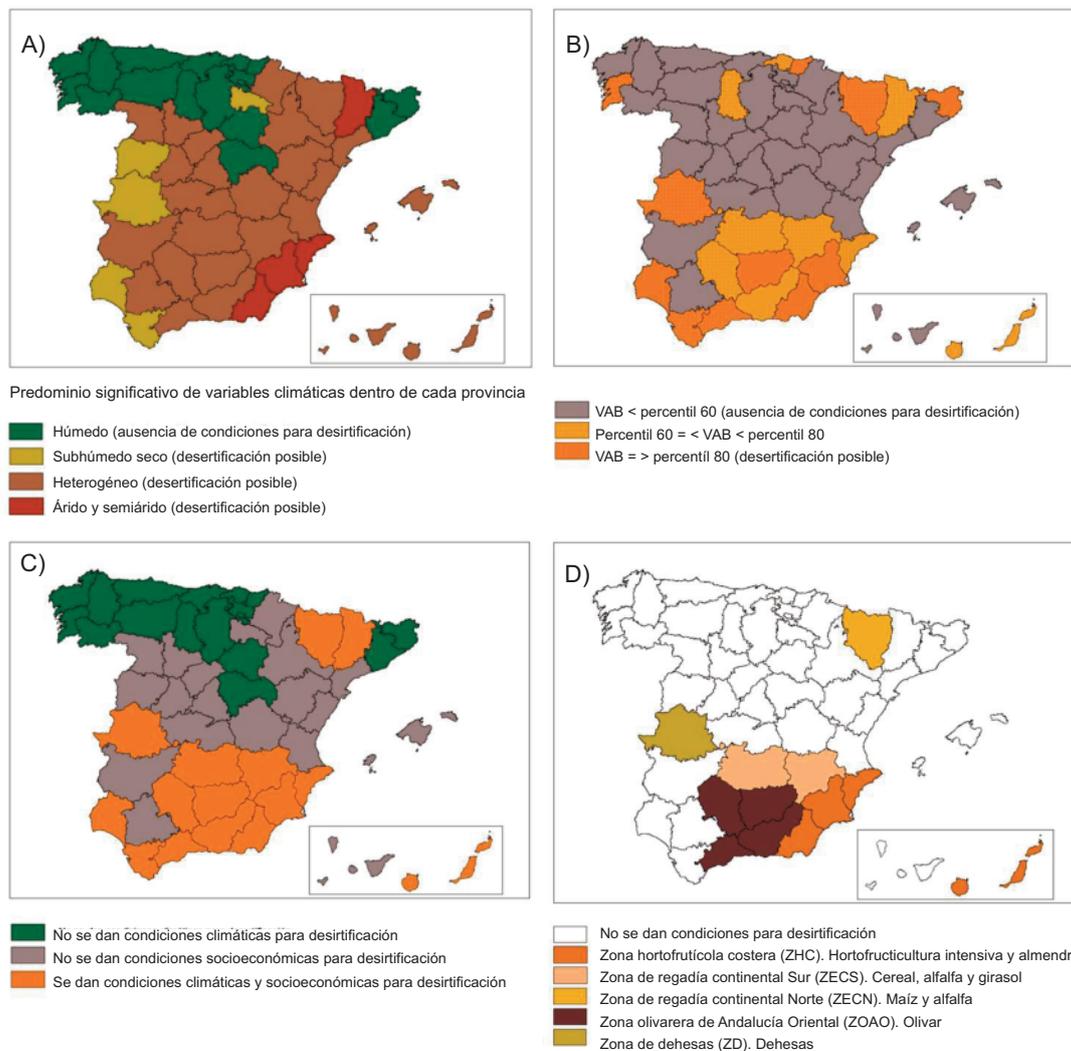
El PAND, elaborado hace más de una década, fue consciente de este cambio de rumbo, incluyendo los escenarios de desertificación en España identificados por un procedimiento similar al propuesto por el AMD-3 (Puigdefábregas y del Barrio 2000). En primer lugar, se elaboró un mapa a escala provincial de desertificación potencial (Fig. 5C). Éste se obtuvo cruzando un mapa que reflejaba ciertas condiciones de aridez (Fig. 5A) con otro que contemplaba el auge del sector agrario (Fig. 5B). En los territorios que superaban ciertos umbrales de aridez y su crecimiento económico era notorio,

se buscaron cambios en el uso del suelo. Los usos que se expandían de forma relevante determinaron los «puntos calientes» de la desertificación en España (Fig. 5D). De ellos se derivaron los actuales «paisajes de la desertificación» del PAND. Posteriormente se desarrollaron modelos integrales para cada uno de ellos con el fin de calcular el riesgo de desertificación en base a la simulación de miles de escenarios (Martínez-Valderrama et al. 2016; Martínez-Valderrama et al. 2020b). Estos modelos de simulación permiten calcular las trayectorias temporales de las distintas variables biofísicas y socioeconómicas consideradas (como el nivel freático de los acuíferos, el espesor de suelo fértil o la biomasa pastable). Cada trayectoria corresponde a un determinado escenario (que incluyen precios, subvenciones, precipitación, temperatura, etc.) y alcanza un punto de equilibrio. Incorporando umbrales de degradación, el riesgo se determina mediante la simulación de miles de escenarios y el porcentaje de simulaciones en las que el equilibrio ha rebasado los umbrales considerados. Además, se asocia un tiempo de degradación, puesto que no es lo mismo que un sistema se deteriore en décadas que en siglos.



**Figura 4.** Ejemplo de Convergencia de la Evidencia para los cultivos intensivos. Detalle de uno de los mapas de convergencia del AMD-3. Puede verse un mapa interactivo en <https://wad.jrc.ec.europa.eu/countryreport>. Fuente: Elaboración propia a partir de AMD-3 (Cherlet et al. 2018).

**Figure 4.** Example of Convergence Evidence for intensive crops. Detail of one of the WAD-3 convergence maps. An interactive map is available at <https://wad.jrc.ec.europa.eu/countryreport>. Source: Own elaboration based on WAD-3 (Cherlet et al. 2018).



**Figura 5.** Procedimiento para detectar los “puntos calientes” de la desertificación en España. **A)** El mapa potencial de desertificación. **B)** es la intersección de las condiciones de aridez y **C)** socioeconómicas. **D)** En las provincias con condiciones para desertificación se detectan los usos del suelo más proclives. Fuente: Proyecto SURMODES (Puigdefábregas y del Barrio 2000).

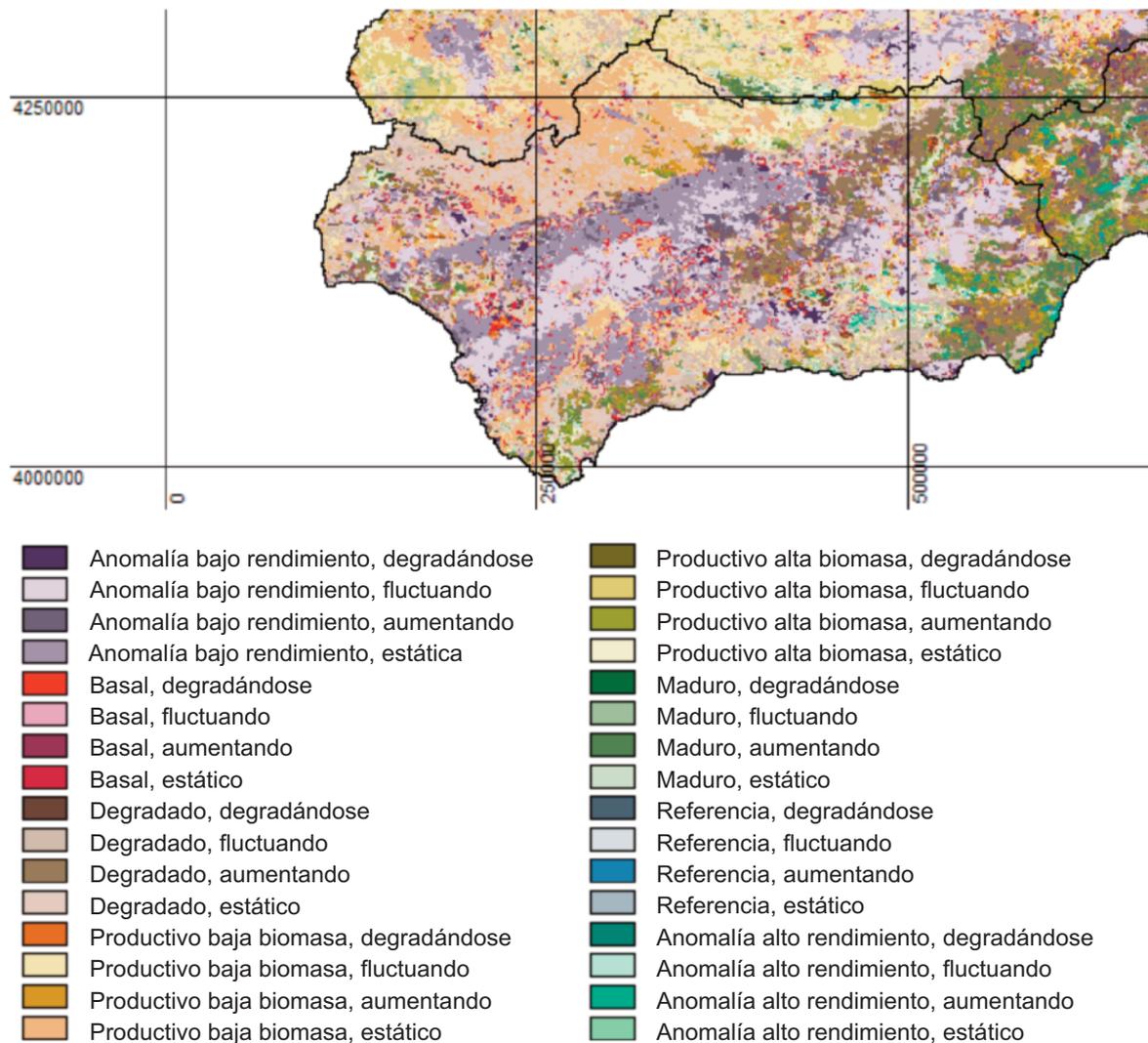
**Figure 5.** Procedure for detecting desertification hotspots in Spain. **A)** The desertification potential map. **B)** is the intersection of aridity and **C)** socio-economic conditions. **D)** In the provinces with conditions for desertification, the most prone land uses are detected. Source: SURMODES project (Puigdefábregas y del Barrio 2000).

## ¿Podemos mapear el fenómeno de la desertificación?

Se ha producido una doble evolución en la cartografía relacionada con los problemas de desertificación. En primer lugar, una de tipo conceptual en la que la degradación ya no solo se refiere al suelo y a la erosión, sino que abarca muchos más recursos y procesos. En segundo lugar, otro de tipo metodológico. Se han impuesto los sistemas de información geográfica y las herramientas basadas en la teledetección. Así, la información cartográfica presentada en la última versión del AMD constituye el almacén con el que construir nuevas y sugerentes propuestas metodológicas. Por un lado, se pueden hacer mapas que retraten el estado de desertificación mediante la evolución de la vegetación, o de su productividad primaria, algo que se lleva realizando durante décadas utilizando como variable proxy el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI en inglés) (Tucker et al. 1986; del Barrio et al. 2010; Prince 2016) (Fig. 6). Mediante esta aproximación se trata de cartografiar la degradación persistente de la productividad primaria. Aunque ignoran hechos importantes, como la sobreexplotación de aguas subterráneas o el estado del suelo (el *re-greening* evidencia este aspecto, ya que un aumento de la cubierta vegetal no necesariamente implica que el suelo esté en buen estado, Kap-tué et al. 2015), estos mapas aportan una sólida evaluación de la condición del territorio, lo que aporta información valiosa sobre la desertificación de un territorio, aunque no sobre su riesgo.

En segundo lugar, continúan las propuestas metodológicas para cartografiar el riesgo de desertificación, demostrando que este es un fértil campo de desarrollos metodológicos. Uno de los más recientes (Huang et al. 2020) combina un indicador socioeconómico y otro climático para crear el «índice global de vulnerabilidad a la desertificación». Estadísticamente es un producto mucho más sólido que sus predecesores, aunque no considera el desacoplamiento espacial entre los centros de producción agraria y los de consumo. Así, el grado de vulnerabilidad puede ser muy bajo en lugares donde la densidad demográfica sea ínfima (la población y su crecimiento es crucial en este índice), a pesar de que sufran una fuerte presión debido a la demanda de lejanas ciudades (Yu et al. 2013; Oteros-Rozas et al. 2019).

En síntesis, las propuestas cartográficas oscilan entre algoritmos excesivamente simplistas para abordar un problema tan complejo como la desertificación y métodos intrincados incapaces de transmitir mensajes sencillos y comprensibles. Entre estos dos extremos hay que buscar nuevas aproximaciones. La capacidad para generar datos a nivel global y procesarlos puede propiciar interesantes avances metodológicos. De hecho, esto servirá para dar respuesta a tres cuestiones que se mantienen vigentes a escala regional y mundial: ¿Qué es lo que se degrada (el suelo, la vegetación)?, ¿Qué lugares se están degradando? y ¿Cómo de severa es la degradación? (Prince 2016). Aun estando de acuerdo con una de las principales conclusiones del AMD-3, en el sentido de



**Figura 6.** Condición de la tierra en el sur de la península Ibérica estimado a partir de la productividad primaria y la eficiencia en el uso de la lluvia. Fuente: (Sanjuán et al. 2014).

**Figure 6.** Land condition in the southern Iberian Peninsula estimated from primary productivity and rainfall use efficiency. Source: (Sanjuán et al. 2014).

que «la degradación de la tierra no puede ser cartografiada globalmente mediante un solo indicador o a través de cualquier combinación aritmética o modelizada de variables», es tentador volver a juntar datos y diseñar algoritmos que nos permitan retratar la desertificación.

## Conclusiones

Conocer con precisión dónde ocurren los problemas de desertificación y tener una idea de si son más o menos graves es una tarea prioritaria para enfrentarnos al problema. Los intentos por cartografiar la desertificación o su riesgo han sido numerosos, pero ninguna de las metodologías desarrolladas se ha consolidado. Fruto de ello el último AMD descarta presentar, paradójicamente, nuevos mapas de desertificación. En su lugar propone un nuevo paradigma que denomina la Convergencia de la Evidencia. Se pueden señalar dos principios en esta nueva manera de identificar los “puntos calientes” de la desertificación. Por un lado, se trata de cruzar información biofísica y socioeconómica que nos revele los lugares en los que se combina un auge de la producción (es decir, un alto consumo de recursos naturales) con una posible disminución de la regeneración de esos recursos. Por el otro, se conmina a utilizar información regional, e incluso local, para entender el contexto específico (social, político, cultural) en el que se está produciendo ese desarrollo económico. Si no se entienden estos mecanismos difícilmente seremos capaces de desactivarlos.

En nuestra opinión la Convergencia de la Evidencia no cierra las puertas a desarrollar enfoques alternativos para cartografiar la desertificación. Por el contrario, el enorme caudal de información que presenta el AMD-3 puede inspirar nuevas metodologías. Lo que sí parece esencial, a la luz de experiencias anteriores, es la necesidad de definir muy bien lo que se pretende cartografiar, lo cual probablemente requiera reforzar algunos vacíos conceptuales de la vigente definición de desertificación. En este sentido parece necesario incluir las zonas híper-áridas en el espectro de la desertificación (Martínez-Valderrama et al. 2020a), puesto que la tecnología actual permite el desarrollo económico en estas zonas. Además, es necesario clarificar si la irreversibilidad del problema es esencial y la escala temporal a la que nos referimos. Los fenómenos de reverdecimiento de determinadas zonas como el Sahel (Helldén y Tottrup 2008) hacen que se cuestione si un lugar se ha desertificado o simplemente se trataba de una crisis pasajera (Behnke y Mortimore 2016). Debatir las implicaciones de estos hechos es crucial para adaptar el concepto de desertificación a un mundo en perpetuo cambio.

## Contribución de los autores

Jaime Martínez-Valderrama: Conceptualización, Redacción – borrador original, Redacción – Revisión y edición, Supervisión, Visualización. Emilio Guirado: Redacción – Revisión y edición. Fernando T. Maestre: Redacción – Administración del proyecto, Revisión y edición, Supervisión.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Europeo de Investigación (Grant Agreement nº 647038, BIODESERT) y la Generalitat Valenciana (CIDEGENT/2018/041).

## Referencias

- Behnke, R.H., Mortimore, M. 2016. *The End of Desertification? Disputing Environmental Change in the Drylands*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania.
- Bestelmeyer, B.T., Okin, G.S., Duniway, M.C., Archer, S.R., Sayre, N.F., Williams, J.C., Herrick, J.E. 2015. Desertification, land use, and the transformation of global drylands. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13: 28-36.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. 2018. *World Atlas of Desertification*. En: Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (eds.), Publication Office of the European Union, Luxemburgo.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K., Ravi, S., Runyan, C. 2013. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51: 326-344.
- Dregne, H.E., Chou, N.T. 1992. Global desertification dimensions and costs. En Dregne, H. E. (ed.), *Degradation and Restoration of Arid Lands*, pp. 249-282. Texas Tech University Press, Lubbock, Texas, Estados Unidos.
- del Barrio, G., Puigdefabregas, J., Sanjuan, M.E., Stellmes, M., Ruiz, A. 2010. Assessment and monitoring of land condition in the Iberian Peninsula 1989-2000. *Remote Sensing of Environment* 114: 1817-1832.
- EC-European Commission 1999. *The Medalus Project: Mediterranean desertification and land use: manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Kosmas, C., Kirkby, M.J., Geeson, N. (eds.). EC, Directorate-General Science, Research and Development. Bruselas, Bélgica.
- Elwell, H.A., Stocking, M. 1976. Vegetal Cover to Estimate Soil Erosion Hazard in Rhodesia. *Geoderma* 15: 61-70.
- FAO, UNESCO, WMO. 1977. *World Atlas of Desertification at a scale of 1:25,000,000*. United Nations Conference on Desertification, Nairobi, Kenya.
- Grove, A.T. 1999. Book Reviews. *World Atlas of Desertification*. 2nd edition. *Earth Surf Process and Landforms* 24: 279-280.
- Helldén, U., Tottrup, C. 2008. Regional desertification: A global synthesis. *Global and Planetary Change* 64: 169-176.
- Huang, J., Zhang, G., Zhang, Y., Guan, X., Wei, Y., Guo, R. 2020. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation and Development* 31(11): 1380-1391.
- Ibáñez, J., Lavado Contador, J.F., Schnabel, S., Martínez-Valderrama, J. 2016. Evaluating the influence of physical, economic and managerial factors on sheet erosion in rangelands of SW Spain by performing a sensitivity analysis on an integrated dynamic model. *Science of the Total Environment* 544: 439-449.
- Ibáñez, J., Martínez-Valderrama, J., Martínez Vicente, S., Martínez Ruiz, A., Rojo Serrano, L. 2015. *Procedimientos de alerta temprana y estimación de riesgos de desertificación mediante modelos de Dinámica de Sistemas*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, España.
- ICONA 1988. *Mapa de estados erosivos de España*. Madrid, Spain.
- Jacobsen, T., Adams, R.M. 1958. Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture. *Science* 128: 1251-1258.
- Kaptué, A.T., Prihodko, L., Hanan, N.P. 2015. On greening and degradation in Sahelian watersheds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112: 12133-12138.
- Lahloui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., Moukrim, S. 2017. Desertification Assessment Using MEDALUS Model in Watershed Oued El Maleh, Morocco. *Geosciences* 7: 50.
- Mabbutt, J.A. 1978. The Impact of Desertification as Revealed by Mapping. *Environmental Conservation* 5 (1): 45-56.
- MAGRAMA 2008. *Programa de Acción Nacional contra la Desertificación*. Madrid. Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente, Madrid, España.
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Del Barrio, G., Sanjuán, M.E., Alcalá, F.J., Martínez-Vicente, S., et al. 2016. Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation. *Science of The Total Environment* 563-564: 169-178.
- Martínez-Valderrama, J., Guirado, E., Maestre, F.T. 2020a. Desertifying deserts. *Nature Sustainability* 3: 572-575.
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Alcalá, F.J., Martínez, S. 2020b. SAT: A Software for Assessing the Risk of Desertification in Spain. *Scientific Programming*, vol. 2020, Article ID 7563928, 12 pp. <https://doi.org/10.1155/2020/7563928>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) 2005. Drylands. En Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (eds.), *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios*, pp. 623-662. Island Press, Washington, DC, Estados Unidos.
- MITERD (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). 2012. *Inventario Nacional de Erosión de Suelos*. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/inventario\\_nacional\\_erosion.aspx/](https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/inventario_nacional_erosion.aspx/) [Accedido 9 de diciembre de 2021].
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. 1991. *World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)*. 2<sup>nd</sup> ed. Wageningen Winand Staring Center, International Society for Soil Science, FAO, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science.
- Olsson, L. 1993. Desertification in Africa - A critique and an alternative approach. *GeoJournal* 31: 23-31.
- Oteros-Rozas, E., Ruiz-Almeida, A., Aguado, M., González, J.A., Rivera-Ferre, M.G. 2019. A social-ecological analysis of the global agrifood system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116: 26465-26473.
- Prince, S.D. 2016. Where Does Desertification Occur? Mapping Dryland Degradation at Regional to Global Scales. En: Behnke, R., Mortimore, M. (eds.), *The End of Desertification? Disputing Environmental Change in the Drylands*, pp. 225-263. Springer.
- Puigdefabregas, J. 1995. Desertification: stress beyond resilience, exploring a unifying process structure. *Ambio* 24: 311-313.
- Puigdefabregas, J., del Barrio, G. 2000. Surmodes: a Surveillance System for Assessing and Monitoring of Desertification [página web]. Disponible en: <http://www.eeza.csic.es/surmodes/>
- Reynolds, J.F. 2001. Desertification. En: Levin, S. (ed.), *Encyclopedia of Biodiversity, Volume 2*, pp. 61-78. Academic Press, San Diego, Estados Unidos.
- Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner II, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P.J., et al. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316: 847-851.
- Sanjuán, M.E., Barrio, G. del Ruiz, A., Rojo, L., Puigdefabregas, J., Martínez, A. 2014. *Evaluación y seguimiento de la desertificación en España: Mapa de la Condición de la Tierra 2000-2010*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España), Madrid, España.
- Sinclair, A.R.E., Fryxell, J.M. 1985. The Sahel of Africa: ecology of a disaster. *Canadian Journal of Zoology* 63: 987-994.
- De Stefano, L., Lopez-Gunn, E. 2012. Unauthorized groundwater use: Institutional, social and ethical considerations. *Water Policy* 14: 147-160.
- Thomas, D.S.G., Middleton, N. 1994. *Desertification: Exploding the Myth*. Wiley, Chichester.
- Tucker, C.J., Justice, C.O., Prince, S.D. 1986. Monitoring the grasslands of the Sahel 1984-1985. *Int. J. Remote Sens.* 7: 1571-1581.
- UN (United Nations) 1994. *United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. Document A/AC. 241/27, 12. 09. 1994 with Annex*. New York, NY, Estados Unidos.
- UNEP (United Nations Environmental Programme) 1991. *Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification*. Nairobi, Kenya.
- UNEP (United Nations Environmental Programme) 1992. *World Atlas of Desertification*. Middleton, N., Thomas, D. (eds.),. Londres, Reino Unido. Baltimore, Estados Unidos.
- USDA (United States Department of Agriculture) 1997. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss equation (RUSLE)*. Renard, K. G., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D. (eds.),. United States Department of Agriculture, Washington, DC, Estados Unidos.
- Yu, Y., Feng, K., Hubacek, K. 2013. Tele-connecting local consumption to global land use. *Global Environmental Change* 23: 1178-1186.
- Zonn, I.S., Kust, G.S., Andreeva, O.V. 2017. Desertification paradigm: 40 years of development and global efforts. *Arid Ecosystems* 7: 131-141.