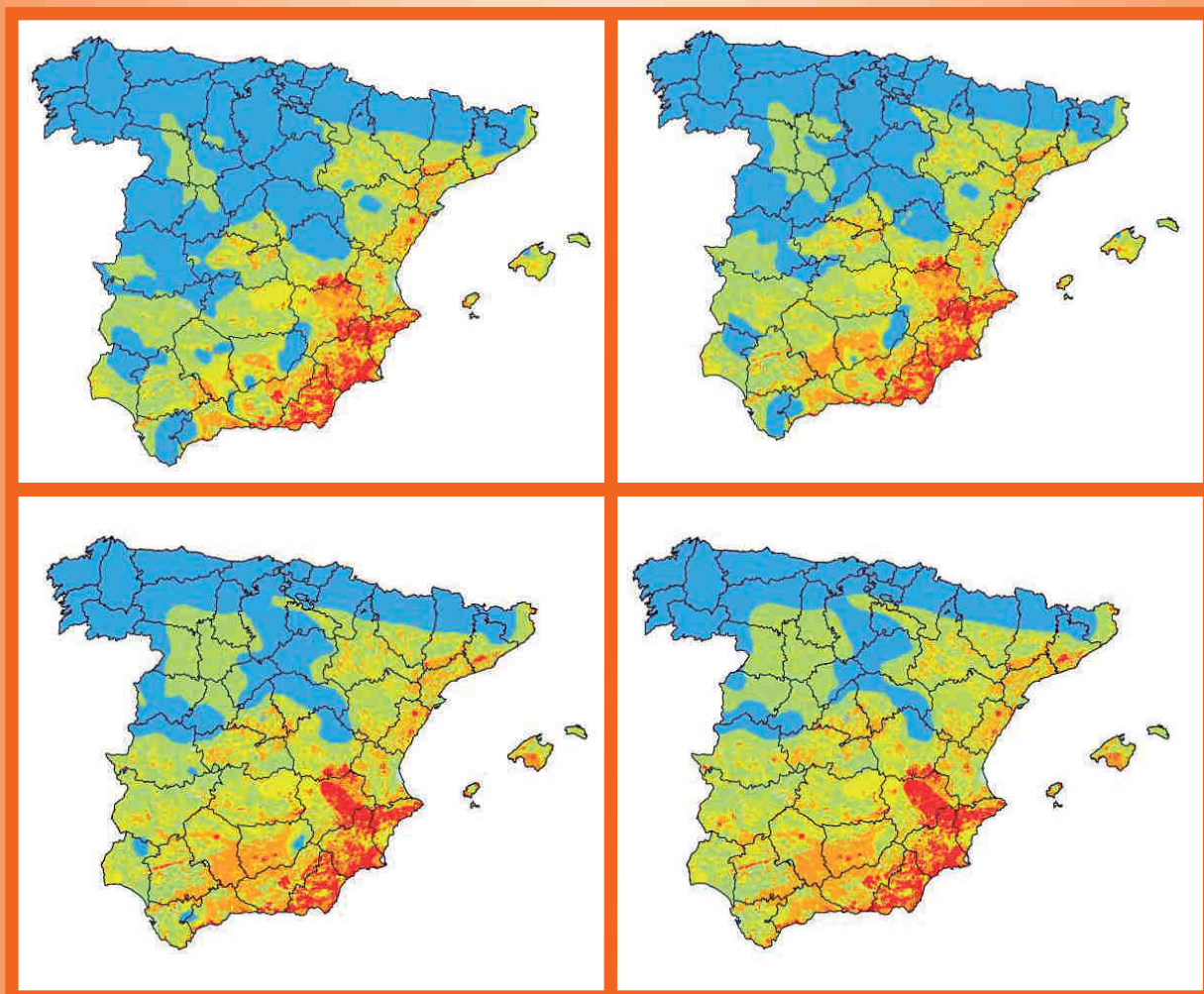


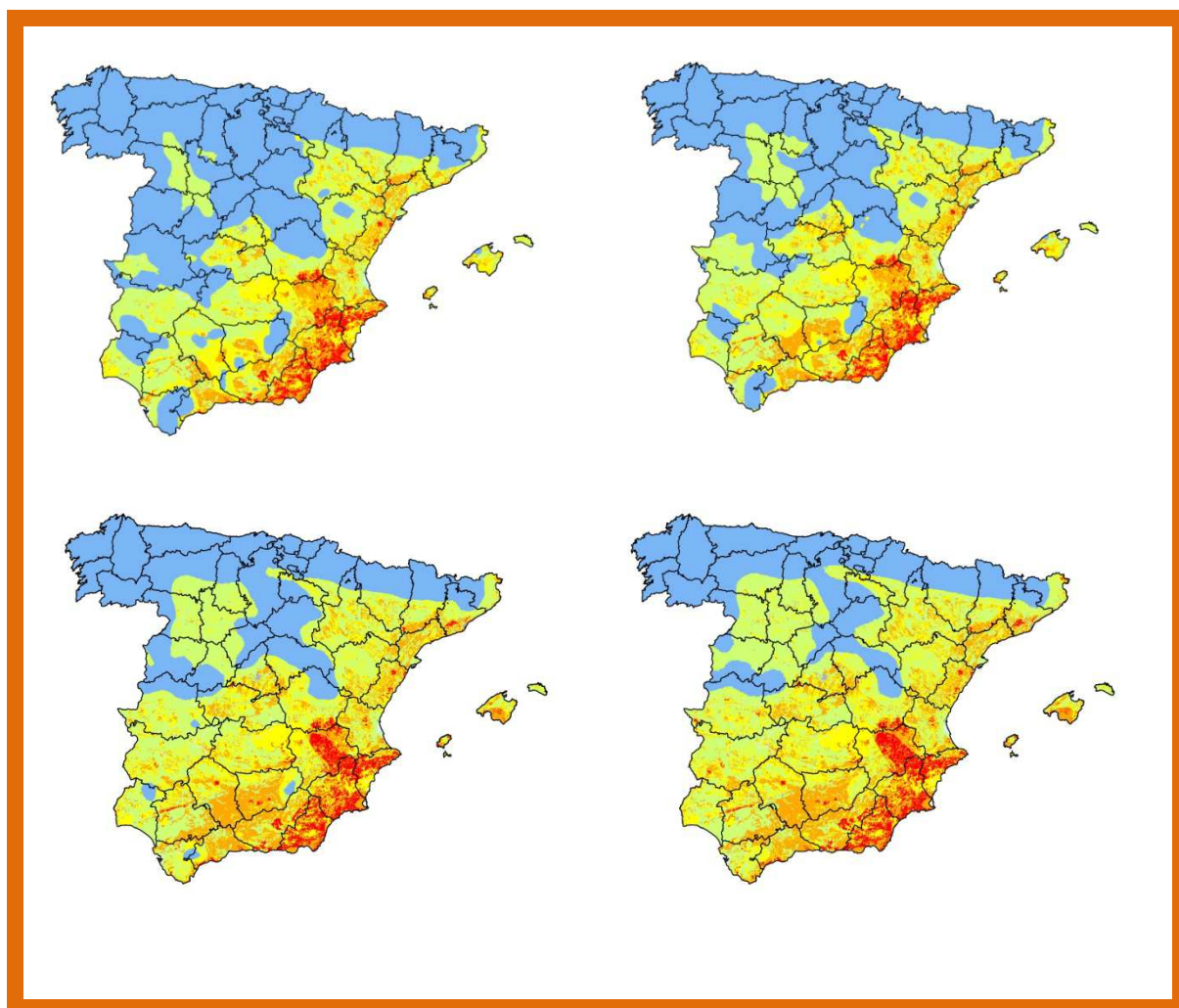
# IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE





## IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE



SECRETARÍA GENERAL  
DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

DIRECCIÓN GENERAL  
DE DESARROLLO RURAL  
Y POLÍTICA FORESTAL

Programa de Acción  
Nacional contra la  
Desertificación





## MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

### Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente  
Secretaría General Técnica  
Centro de Publicaciones

### Distribución y venta:

Paseo de la Infanta Isabel, 1  
28014 Madrid  
Teléfono: 91 347 55 41  
Fax: 91 347 57 22

### Impresión y encuadernación:

Taller del Centro de Publicaciones del MAGRAMA

### Diseño y maquetación:

MAGRAMA

NIPO: 280-16-281-4 (línea)

NIPO: 280-16-280-9 (papel)

Depósito Legal: M-16615-2016

Tienda virtual: [www.magrama.es](http://www.magrama.es)  
[centropublicaciones@magrama.es](mailto:centropublicaciones@magrama.es)

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

**Datos técnicos:** Formato: 29,7 x 21 cm. Caja de texto: 17 x 26,7 cm. Composición: una columna. Tipografía: Times New Roman a cuerpo 11. Encuadernación: Papel: interior Cubierta: Tintas:

En esta publicación se ha utilizado papel libre de cloro de acuerdo con los criterios medioambientales de la contratación pública.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA.....	1
IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA.....	1
1. Introducción .....	1
1.1. El reto de la desertificación.....	1
1.2. El reto del cambio climático .....	4
1.3. Relación entre desertificación y cambio climático.....	4
1.4. Marco del análisis de los vínculos entre desertificación y cambio climático.....	5
A) Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) .....	5
B) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) .....	6
2. Objetivos y metodología .....	7
2.1. Objetivos del estudio .....	7
2.2. Metodología utilizada en el análisis.....	7
A) Selección de aridez y factor R para el análisis.....	8
B) Descripción de los factores considerados en la determinación del riesgo de desertificación .....	8
3. Los escenarios de cambio climático futuro.....	12
4. Análisis de los impactos del cambio climático en los factores considerados en la determinación del riesgo de desertificación en España y generación de mapas del cambio en dicho riesgo .....	13
4.1. Datos de partida.....	14
4.2. Contraste con datos observados y el periodo de control .....	14
4.3. Evolución de las variables de partida.....	16
4.4. Evolución del índice de aridez.....	16
4.5. Evolución del índice de erosividad de la lluvia.....	17
5. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación.....	19
5.1. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación por cambios en la aridez .....	19
5.2. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación por cambios del factor R .....	21
5.3. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación como consecuencia del incremento de aridez y de los cambios en la erosividad de la lluvia.....	23
6. Resumen, conclusiones y resultados .....	25

Tabla 1: Distribución de la superficie de España por nivel de riesgo.....	2
Tabla 2: Variación del porcentaje de superficie en cada tipo de aridez .....	16
Tabla 3: Variación del porcentaje de superficie para distintos niveles de R.....	18
Tabla 4: Incremento del porcentaje del riesgo de desertificación a finales de siglo respecto al periodo de control.....	20
Tabla 5: Variación del porcentaje de superficie en cada nivel erosivo en el siglo .....	22
Tabla 6: Evolución del cambio (porcentaje de territorio) de las clases de riesgo de desertificación en España, considerando distintos factores.....	24
Tabla 7: Comparación de la evolución de las clases de riesgo de desertificación considerando distintos factores.....	24
Caja 1: Conceptos relevantes de desertificación .....	3
Caja 2: Conceptos relevantes de cambio climático (IPCC, 2014) .....	5
Caja 3: Ámbito de la lucha contra la desertificación.....	10
Figura 1: Mapa de aridez de España. ....	1
Figura 2: Mapa de riesgo de desertificación .....	2
Figura 3: Factores que contribuyen a la desertificación .....	3
Figura 4: Comparación situaciones de partida entre mapas generados con datos observados y datos del periodo de control en el periodo de referencia (1971-2000) .....	15
Figura 5: Evolución interpolada del índice de aridez .....	17
Figura 6: Evolución de distribuciones de superficie en cada intervalo de valores del factor R entre el periodo de control y el periodo de fin de siglo XXI.....	19
Figura 7: Evolución de las clases de riesgo de desertificación por cambios en la aridez.....	20
Figura 8: Mapa de evolución del riesgo de desertificación considerando cambios en la aridez 21	
Figura 9: Porcentaje de superficie nacional en cada nivel erosivo .....	22
Figura 10: Mapa de pérdidas de suelo por erosión hídrica considerando los cambios en el Factor R .....	23
Figura 11: Mapa de riesgo de desertificación, considerando cambios en aridez y factor R (ESTCENA FIC_CN3).....	25



# IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA

## 1. Introducción

### 1.1. El reto de la desertificación

La desertificación se define, en la Convención de Lucha contra la Desertificación (CLD), como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.

Según esta Convención, en cuanto al ámbito geográfico, las zonas susceptibles de sufrir desertificación son las áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, (es decir, aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 y 0,65). Así, de acuerdo a la definición establecida, amplias zonas de la geografía española se encuentran potencialmente afectadas por el proceso de desertificación. De hecho, más de dos terceras partes del territorio español pertenecen a las categorías de áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas.

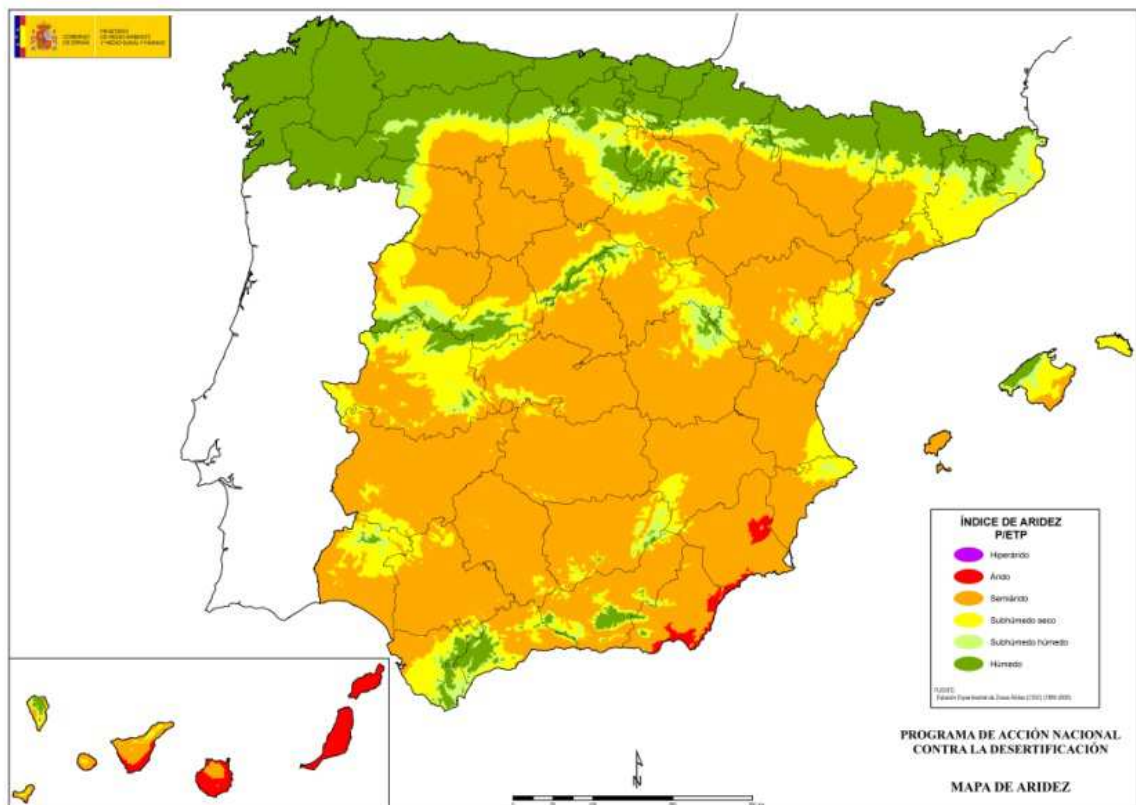


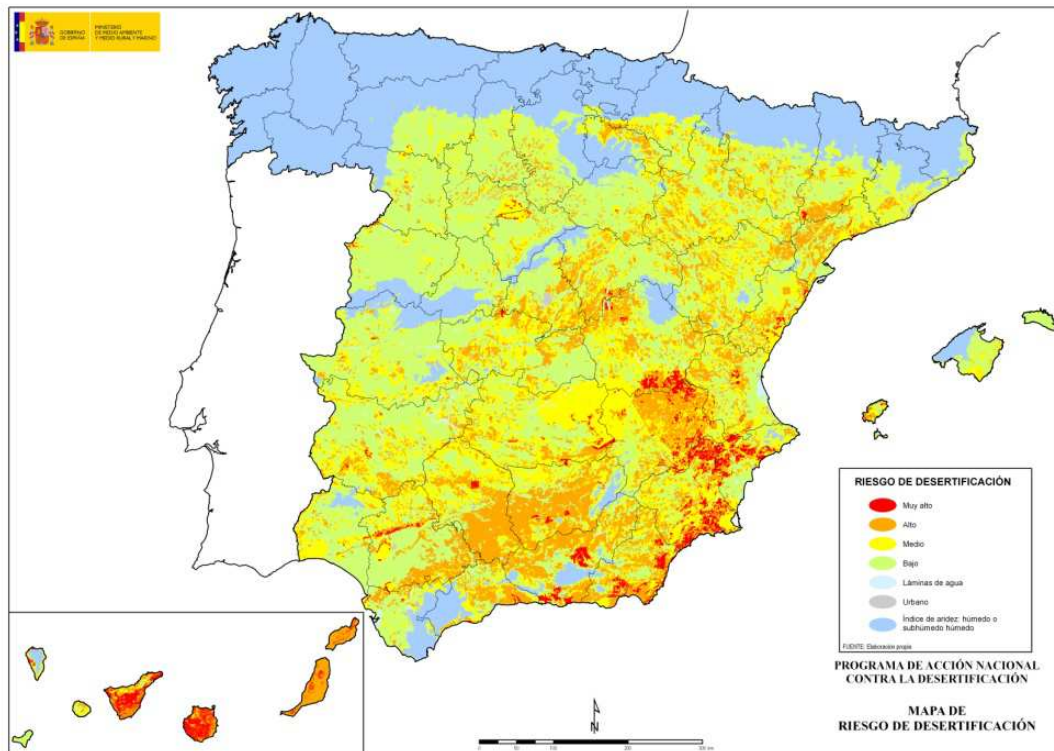
Figura 1: Mapa de aridez de España.

La distribución de la superficie española en las categorías de riesgo de desertificación sería la siguiente:

RIESGO DE DESERTIFICACIÓN	SUPERFICIE (ha)	PROPORCIÓN
Muy alto	1.029.517	2,03 %
Alto	8.007.906	15,82 %
Medio	9.718.040	19,20 %
Bajo	18.721.141	36,99 %
<b>Total Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas</b>	<b>37.476.605</b>	<b>74,05 %</b>
Zonas húmedas y subhúmedas húmedas	12.773.820	25,24 %
Láminas de agua y urbano	356.937	0,71 %
<b>Total Nacional</b>	<b>50.607.361</b>	<b>100,00 %</b>

**Tabla 1: Distribución de la superficie de España por nivel de riesgo**

La distribución cartográfica de estas superficies se refleja en la siguiente figura.



**Figura 2: Mapa de riesgo de desertificación**

En la desertificación no existe una relación unívoca de causa-efecto, sino que constituye un proceso muy complejo con múltiples factores relacionados entre sí, que inciden sobre el sistema y desencadenan un conjunto de procesos y acciones que resultan en una degradación más o menos progresiva del medio. La combinación de factores naturales y humanos que conducen a la desertificación y sus interrelaciones pueden observarse en la figura siguiente (Figura 3).



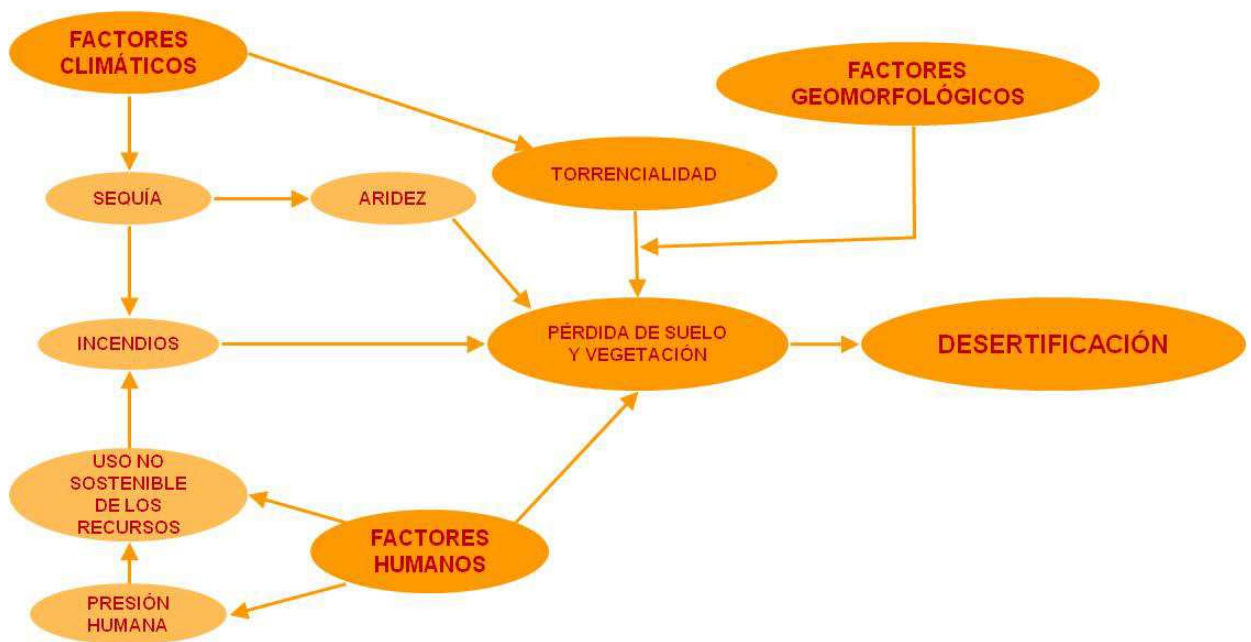


Figura 3: Factores que contribuyen a la desertificación

Por todo esto, la lucha contra la desertificación debe de incluir planteamientos y propuestas de todos los sectores implicados, en particular del sector forestal y sector agrícola, y de los sectores ligados a la gestión de los recursos hídricos. Las actividades de lucha contra la desertificación deberán, por definición (CLD), formar parte de un aprovechamiento integrado de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el desarrollo sostenible y tienen por objeto la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas, y la recuperación de tierras ya desertificadas.

**Desertificación (CLD):** degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas.

**Degradación de las tierras (CLD):** reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como:

- la erosión del suelo causada por el viento o el agua,
- el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo, y
- la pérdida duradera de vegetación natural.

**Aridez:** relación entre la evapotranspiración potencial y la precipitación anual (es decir, oferta y demanda de agua). Está determinada climáticamente y no depende de la actividad humana.

**Erosión:** pérdida de suelo por diferentes factores, entre ellos, la acción de la lluvia, el viento y las corrientes de agua.

Caja 1: Conceptos relevantes de desertificación

## 1.2. El reto del cambio climático

El cambio climático constituye una de las principales amenazas globales a las que debemos hacer frente en este siglo. Incluso considerando las previsiones más optimistas sobre las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, los estudios científicos revelan que un cierto grado de cambio en el clima es ya inevitable. Esto se debe a que los principales gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, el metano o el óxido nitroso, son químicamente estables y persisten en la atmósfera en periodos de tiempo que van desde décadas hasta siglos. De este modo, las emisiones de estos gases ejercen su influencia en el clima a medio y largo plazo.

Esta influencia en el clima se traduce en variaciones de los parámetros climáticos, las cuales afectan, en mayor o menor medida, a recursos, sectores, sistemas y nuestro entorno en general. La rapidez con que se producen estas variaciones y la magnitud de la variación que tenga lugar determinarán los impactos que se produzcan a nivel local, regional y mundial. Es un hecho constatado que los impactos del cambio climático ya se hacen sentir por toda la geografía mundial.

Los efectos destacados del cambio climático son el aumento de temperaturas, las variaciones en los patrones de precipitación y el aumento del nivel del mar. Estos tres efectos generan diferentes impactos en diferentes sistemas y sectores, dependiendo de su vulnerabilidad y su capacidad de adaptación.

España, por su situación geográfica y sus características socioeconómicas, es un país muy vulnerable al cambio climático, de ahí la necesidad de responder urgente y adecuadamente.

Las respuestas al cambio climático deben contemplar dos retos complementarios:

- La mitigación del fenómeno: frenando la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a través de la reducción de las emisiones y de la retirada de los gases ya emitidos a los llamados “sumideros”.
- La adaptación al fenómeno: minimizando los riesgos e impactos derivados del cambio climático y aprovechando, en lo posible, las nuevas condiciones que éste planteará.

Ambos tipos de respuesta están estrechamente vinculados. Las posibilidades de adaptación dependerán del grado de cambio, y éste, por su parte, del éxito de las políticas de mitigación, que condicionarán las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Hay tres conceptos clave cuando se habla de lucha contra el cambio climático en relación con la adaptación, y que se definen en la caja 2.

## 1.3. Relación entre desertificación y cambio climático

La desertificación es ya un problema real o una amenaza para una parte muy importante del territorio español. A los factores tradicionales –incendios, erosión, salinización, etc.- se añaden los efectos relacionados con el cambio climático.

Las proyecciones sobre el cambio climático en España apuntan, entre otras cosas, hacia una creciente aridez y un aumento de las temperaturas, es decir, señalan unos escenarios más favorables a los procesos de desertificación.

También se espera un aumento en el riesgo de ocurrencia de los incendios forestales que, como se muestra en la Figura 3, es otro de los elementos que afecta a la desertificación.

En resumen, se suman varias circunstancias negativas: una parte importante de la superficie del territorio español se encuentra en “zonas susceptibles de sufrir desertificación” tal y como las define la Convención de Lucha contra la Desertificación y, por lo tanto, está, por su ubicación, amenazada actualmente por procesos de desertificación. A esto se suman los impactos que se proyectan por efectos del cambio climático, que actuarán incrementando algunos de los factores que influyen en el aumento de la desertificación (aumento de temperatura, alteración de precipitaciones, aumento del riesgo de incendios, aumentos en la torrencialidad, etc.), es decir, los distintos escenarios de cambio climático prevén que se agraven dichos problemas de forma generalizada y, especialmente, en la España de clima mediterráneo seco y semiárido.

**Vulnerabilidad:** Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

**Impactos:** Efectos en los sistemas naturales y humanos. En el presente informe, el término impactos se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y la elevación del nivel del mar, son un subconjunto de los impactos denominados impactos físicos.

**Adaptación:** Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

#### Caja 2: Conceptos relevantes de cambio climático (IPCC, 2014)

### 1.4. Marco del análisis de los vínculos entre desertificación y cambio climático

A continuación se define el marco y el contexto que llevaron a considerar la elaboración del estudio de “Análisis de los procesos de desertificación en España en función de los distintos escenarios climáticos”, y cuyos resultados se resumen en este documento<sup>1</sup>.

#### A) Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND)

En la CLD se establece la necesidad de que todos los países signatarios afectados elaboren y ejecuten un Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND)<sup>2</sup>, constituyendo

<sup>1</sup> El estudio “Análisis de los procesos de desertificación en España en función de los distintos escenarios climáticos” se desarrolló entre los años 2011 y 2013 en el marco de desarrollo del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) y del Tercer Programa de Trabajo del PNACC (sector suelos / desertificación).

<sup>2</sup> [http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch\\_pand.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_pand.aspx)

dicho Plan el principal compromiso contraído con este acuerdo. España adoptó su PAND en 2008.

El objetivo fundamental del Programa es contribuir al logro del desarrollo sostenible de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del territorio nacional y, en particular, la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas y la recuperación de tierras desertificadas.

En la primera parte establece sus objetivos, definición y ámbito. En la segunda parte, el PAND aborda el diagnóstico de la situación en España. Se analizan los principales factores naturales y humanos causantes de desertificación y de los procesos que desencadenan. Los factores físicos considerados son: la aridez, la sequía, la erosión, los incendios forestales y el uso no sostenible de los recursos hídricos, y en los factores socioeconómicos se describen y analizan los principales escenarios de la desertificación en España: cultivos leñosos y cultivos extensivos de secano afectados por procesos erosivos, sistemas agro-silvo-pastorales con problemas de sobrepastoreo, sistemas agronómicos de regadío sometidos a procesos de desertificación (sobreexplotación de acuíferos, salinización, ...) y matorrales degradados y eriales con afectados o con riesgo de erosión.

Además, se determina el marco de las acciones de lucha contra la desertificación en los principales sectores implicados: agrario, forestal y de gestión de recursos hídricos. En su tercera parte, el PAND expone las propuestas de acción para la lucha contra la desertificación: la determinación de las áreas con riesgo de desertificación, con el fin de definir los espacios tanto físicos como socioeconómicos sobre los que debe desarrollarse la política de lucha contra la desertificación en España, la coordinación de las políticas y medidas de lucha contra la desertificación identificadas en el PAND en los distintos sectores o ámbitos implicados y el desarrollo de un conjunto de líneas de acción específicas.

En definitiva, el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación es un documento que establece principios y diseña acciones y su programación en el tiempo, respondiendo a las preguntas cómo, cuándo y dónde actuar respecto del problema de la desertificación.

Entre las líneas de acción específica del PAND se incluye el desarrollo de un Sistema Integrado de Evaluación y Seguimiento de la desertificación en España (SIEVD), cuyo principal objetivo es constituirse en un instrumento operativo de apoyo a la aplicación del Programa, a través de la determinación de zonas con problemática en las que llevar a cabo las actuaciones preventivas y correctoras que correspondan, de acuerdo a la evaluación de la situación actual y a las previsiones futuras que determine el Sistema. Así, entre los objetivos específicos del Sistema se incluye el de proporcionar pronósticos prospectivos acerca de la evolución en el tiempo, de acuerdo con diferentes escenarios tanto socioeconómicos como climáticos. En relación con el análisis de los procesos de desertificación en función de los diferentes escenarios climáticos, el PAND establece que el desarrollo de esta línea se coordinará con los trabajos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

## **B) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)**

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)<sup>3</sup> es el actual marco de referencia para el desarrollo de acciones de evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en España. El objetivo del Plan es integrar la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión de todos los sectores o sistemas. Para ello es necesario que el

---

<sup>3</sup> <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/plan-nacional-de-adaptacion-al-cambio-climatico/>

desarrollo del Plan se convierta en un gran proyecto colectivo, en el que participen activamente las instituciones y actores clave en cada sector.

Ya desde el inicio, el Plan ha considerado la desertificación como una de sus líneas de trabajo, planteando acciones como la elaboración de una cartografía de las zonas más vulnerables a la desertificación por efecto del cambio climático, la monitorización de las tierras degradadas y en proceso de desertificación mediante el seguimiento de la erosión y de la evolución del carbono orgánico en los suelos, etc.

El PNACC se ejecuta a través de Programas de Trabajo. En el ámbito del primer programa de trabajo se desarrollaron escenarios regionalizados de cambio climático para nuestro país, que se han continuado generando en los siguientes programas de trabajo a medida que se disponen de los sucesivos modelos globales del Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC). Los escenarios constituyen estimaciones de los posibles rasgos futuros del clima y sirven como referencia para elaborar estudios de impactos y vulnerabilidad específicos para diversos sectores y sistemas ecológicos, económicos y sociales, incluyendo potenciales estudios sobre los efectos del cambio climático en la desertificación en España.

Además, desde su segundo programa de trabajo, en el eje de evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, el PNACC incluye específicamente como sector a tratar el de “suelos/desertificación”, abriendo nuevas líneas de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en relación con la desertificación.

En el tercer programa de trabajo del PNACC se da continuidad a las acciones sectoriales iniciadas en el segundo programa de trabajo, y se reconoce que el principal marco donde integrar las acciones del tercer programa de trabajo del PNACC en relación con suelos y desertificación es el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND).

## **2. Objetivos y metodología**

### **2.1. Objetivos del estudio**

Partiendo del hecho de que las proyecciones de cambio climático para España señalan, entre otras consecuencias, la creciente aridez y temperatura de nuestro clima, se ha desarrollado un análisis de los procesos de desertificación en España en función de los escenarios climáticos previsibles en el marco de la evaluación y seguimiento de la desertificación.

Este estudio se ha planteado conjuntamente entre la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) y la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal con el objetivo de conocer las consecuencias del cambio climático sobre el riesgo de desertificación, a través de los escenarios de cambio climático a corto, medio y largo plazo generados en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la OECC, y deducir de ellos estrategias de adaptación a la desertificación ocasionada por el cambio climático.

### **2.2. Metodología utilizada en el análisis**

Las tareas incluidas en el análisis consisten en la generación de mapas de riesgo de desertificación inducido por el cambio climático para los escenarios climáticos considerados y su comparación con la situación actual. La base de partida para la generación estos mapas ha sido la expuesta en el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) en el que se realizó un diagnóstico de la situación en España del riesgo de desertificación, de forma

preliminar y teórica, teniendo en cuenta aspectos de tipo cualitativo, para obtener una primera aproximación de la distribución del riesgo de desertificación en nuestro territorio.

Para este análisis del PAND se utilizaron solamente indicadores de tipo físico y biológico disponibles a nivel nacional, y según la intensidad de estos factores se caracterizaron las superficies, es decir, se aplicó un modelo basado en la caracterización de la superficie de acuerdo con la intensidad en que se presentan los factores y procesos de desertificación considerados (aridez, erosión, incendios y sobreexplotación de acuíferos). Mediante un tratamiento metodológico sencillo se obtuvo el mapa de riesgo de desertificación.

Los indicadores utilizados fueron:

- índice de aridez.
- pérdidas de suelo para la erosión.
- porcentaje de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años para incendios.
- existencia de problemas de sobreexplotación de acuíferos.

A la hora de establecer las categorías de riesgo de desertificación, el PAND analiza los valores de erosión (intervalos de menos de 12 t/ha-año, 12-25 t/ha-año y más de 25 t/ha-año), incendios (intervalos de menos del 10% y más del 10% de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años), sobreexplotación de acuíferos (existencia de problemas de sobreexplotación o no) y aridez (carácter árido, semiárido y subhúmedo seco). Las diferentes combinaciones de los diferentes valores de estas cuatro variables resultan en una categorización del riesgo de desertificación en bajo, medio, alto y muy alto. (Ver tabla 1)

#### **A) Selección de aridez y factor R para el análisis**

El objetivo inicial del trabajo llevado a cabo es analizar todos los factores relacionados con los indicadores señalados más arriba. Sin embargo, este esquema inicial planteaba incertidumbres relacionadas principalmente con las predicciones de eventos extremos y con la existencia de aproximaciones cartográficas de generación de escenarios de cambio climático en la cobertura vegetal del suelo (ambos factores relevantes para la erosión), y en el resto de factores del mapa de riesgos (frecuencia de incendios y sobreexplotación de acuíferos). Una evaluación integral del efecto del cambio climático en la desertificación requeriría la generación de escenarios de cobertura vegetal del suelo/uso y gestión del suelo, frecuencias de incendios, sobreexplotación de acuíferos y escenarios socioeconómicos. Estas simulaciones resultan complejas y además existen notables carencias de información para desarrollarlas.

Al no disponer de tendencias a futuro de todos los indicadores que pueden influir en la desertificación, el análisis se centró en las previsiones de aridez y de factor R (erosividad por lluvia), que además son los que se considera que están más directamente implicados con las variables climáticas.

#### **B) Descripción de los factores considerados en la determinación del riesgo de desertificación**

La Convención de Lucha contra la Desertificación señala en su preámbulo: "...que la desertificación tiene su origen en complejas interacciones de factores físicos, biológicos, políticos, sociales, culturales y económicos". Se trata, pues, de un fenómeno complejo, por lo que resulta imprescindible delimitar claramente cuál es su ámbito conceptual y geográfico.



Para este estudio de los cuatro factores físicos y biológicos señalados con anterioridad, que son los mismos que se utilizaron para elaborar el mapa de riesgo de desertificación del PAND, (la aridez, la erosión, los incendios y la sobrexplotación de acuíferos), se considera que los que están más directamente relacionados con las variables climáticas son el índice de aridez y la erosión del suelo. Por tanto, son principalmente estas variables las que se analizan en este documento para explorar su influencia futura en función del cambio climático.

#### a. Aridez

La aridez informa sobre la escasez estacional y/o anual de los recursos hídricos. Se define comúnmente como la insuficiencia de agua en el suelo y en la atmósfera, y es una de las principales causas de vulnerabilidad de los suelos frente a los agentes de su degradación.

La evaluación de la aridez se realiza mediante el índice de aridez del PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente):

$$\text{Índice de aridez} = \frac{P}{ETP}$$

Donde P es la precipitación anual (mm) y ETP la evapotranspiración potencial media anual (mm), obtenida por el método de Thornthwaite. Este índice clasifica las superficies en clima húmedo, subhúmedo – seco, semiárido, árido e hiperárido, tal y como se aprecia en la figura 1 (mapa de aridez de España).

Este Índice de Aridez especifica cuál es la situación hídrica de una región en base a la relación oferta/demanda hídrica. El índice propuesto por el PNUMA define la aridez mediante la interrelación de la temperatura con las precipitaciones, basándose en el supuesto de que con la temperatura aumenta correlativamente la evapotranspiración, es decir, expresa la relación entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial en un área determinada (PNUMA, 1992).

Para la elaboración de mapas de aridez, bien de la situación actual (periodo de control), bien de situaciones futuras, la información climática necesaria incluye resúmenes de:

- precipitación media mensual,
- temperatura media de las máximas mensuales,
- temperatura media mensual,
- temperatura media de las mínimas mensuales.

España es un país cuyas dos terceras partes de su territorio, aproximadamente, corresponden a climas de carácter subhúmedo seco, semiárido ó árido. Puede decirse que la aridez va aumentando desde el extremo NO hacia el SE, donde sólo llueve de un 5 a un 20% del agua que se evaporaría o se aprovecharía, con zonas húmedas intermedias en las áreas montañosas, cuando la altitud es elevada.

El cambio climático en nuestro país apunta a producir una "aridificación" en buena parte de su superficie, debido a la acción combinada de las tendencias previstas de disminución de las precipitaciones y aumento de la temperatura, lo que conllevaría un agravamiento de los procesos de desertificación en España.

De acuerdo con la definición de la desertificación establecida en la CLD, las áreas susceptibles de desarrollar la desertificación son las áridas, semiáridas y subhúmedas secas (denominadas de forma genérica zonas áridas o tierras secas), por lo que en sentido estricto quedarían fuera del ámbito de la lucha contra la desertificación la Cornisa Cantabro-Pirenaica y las grandes alturas de los Sistemas Central e Ibérico y de los sistemas montañosos de la mitad sur de la Península.

Sin embargo, durante los últimos años en el ámbito de la CLD existe una corriente de opinión según la cual la CLD incluiría también a las tierras húmedas y subhúmedas, es decir incluiría a todas las tierras degradadas. Teniendo en cuenta el propósito de la CLD y la claridad con la que define su ámbito espacial en su propio texto (artículo 1) no es posible esta interpretación amplia. Ello no implica de ninguna manera que la degradación de tierras en las zonas húmedas y subhúmedas no deba ser objeto de atención en todos los niveles y escalas por las instituciones competentes.

### Caja 3: Ámbito de la lucha contra la desertificación

#### b. Erosión

La erosión se puede definir como el proceso que conlleva la pérdida de material edáfico por la acción del agua de lluvia (erosión hídrica) y/o del viento (erosión eólica). Cuando el agua de lluvia impacta en el suelo va provocando la desagregación de sus componentes estructurales. Esto repercute en la porosidad del suelo, que va progresivamente disminuyendo. Como consecuencia, su tasa de infiltración también disminuye, aumentando así la escorrentía superficial y con ella el poder de remoción y arrastre del suelo. Este mecanismo es más intenso en suelos desprovistos de cubierta vegetal, y con características y propiedades poco favorables en cuanto a estructura, textura, permeabilidad, etc., que definen su resistencia a ser desagregado y arrastrado por el agua de lluvia y la escorrentía.

La erosión del suelo es en sí un fenómeno natural que permite el rejuvenecimiento del relieve y la formación de nuevos paisajes, pero la intervención humana hace que el proceso se intensifique como consecuencia de usos y/o prácticas inadecuadas del suelo.

Puede decirse que la erosión es un problema global en nuestro país, que se concentra en unas zonas más que en otras. Los estudios nacionales muestran que la intensidad del proceso de erosión es superior a los límites tolerables (12 toneladas de suelo por hectárea y año) en alrededor del 46% del territorio nacional (23 millones de hectáreas), y que un 12% del territorio nacional (6 millones de hectáreas) está sometido a erosión muy severa, con arrastres superiores a 50 toneladas de suelo por hectárea y año.

De acuerdo con valores medios, calculados para el conjunto del territorio nacional, se puede estimar que, en general, los usos con mayor tasa de erosión son los cultivos arbóreos y viñedos de secano y los usos con menor tasa las cubiertas arbóreas de mayor cobertura, con excepciones a ambos casos en determinadas zonas. Y es que no es tanto el propio tipo de uso del suelo como su ubicación, en particular en lo que se refiere a la pendiente del terreno, y las prácticas de gestión, lo que condiciona fundamentalmente el potencial erosivo desde el punto de vista de la acción del hombre. Este potencial de riesgo de erosión es máximo en cultivos leñosos y herbáceos de secano situados sobre fuertes pendientes, sin prácticas de conservación de suelos ni de manejo adecuadas, a los que se unen formaciones de bosques degradados con cubierta arbolada defectiva, matorrales degradados con muy poca espesura y pastizales degradados y eriales en zonas de pendiente.

En relación con los efectos del fenómeno erosivo, junto a los daños producidos sobre el propio suelo erosionado, que disminuyen su capacidad productiva hasta límites que hacen muy difícil y lenta su recuperación, hay que añadir la potenciación de las avenidas catastróficas y de la irregularidad del régimen fluvial, la sedimentación de embalses y la degradación de la calidad de las aguas, como efectos más relevantes. Todos estos efectos, íntimamente relacionados entre sí y, a su vez, estrechamente implicados en el proceso de desertificación, hacen que la erosión se pueda considerar como una de sus principales causas y, al mismo tiempo, síntoma.

El factor R o factor de erosividad de la lluvia representa la capacidad de las precipitaciones para producir erosión en los suelos, y forma parte de los parámetros considerados para la estimación de las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE). Otros factores que intervienen en la erosión son, en síntesis, el relieve (pendiente y longitud de la ladera), las características del suelo y la cobertura vegetal del suelo y su manejo. Tanto el suelo como la cubierta vegetal y los usos del suelo son susceptibles de verse afectados por el cambio climático, pero como se ha dicho en el capítulo 2, no se dispone de proyecciones para analizar en este estudio.

El cambio climático, en cuanto que potencialmente va a modificar el patrón del régimen de las precipitaciones, tendrá implicaciones en los valores del factor R de erosividad de la lluvia. Asimismo, como consecuencia del incremento de temperatura y del aumento de la sequía, el riesgo de erosión puede verse incrementado ante una posible disminución generalizada del carbono orgánico en el suelo, o como consecuencia de cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (cambios fenológicos, decaimiento forestal, cambios en la estructura y diversidad de las comunidades vegetales y en la disponibilidad de nutrientes en el suelo).

### **c. Incendios**

Los incendios forestales son un fenómeno que, en sí mismo, es natural en las áreas mediterráneas, cuyo clima y composición florística los favorecen. No obstante, el abandono de los aprovechamientos tradicionales de los montes, causados sobre todo por la despoblación rural, la presión turística y urbanística y otros factores de tipo socioeconómico han hecho crecer su número y superficie afectada, superando ampliamente los límites normales de un fenómeno natural. La relación con el concepto de desertificación tal y como es considerado por la Convención de Lucha contra la Desertificación es clara: los incendios forestales repetidos son el principal agente de la degradación del suelo por pérdida duradera de vegetación natural.

En efecto, los incendios forestales causan la eliminación repentina de la cubierta vegetal del suelo. Si son muy intensos o reiterados sobre la misma superficie, la recuperación de la vegetación resulta muy difícil y el suelo queda desnudo y sometido a la erosión que, si es muy intensa, no permite la regeneración del monte quemado.

Aparece entonces en su lugar una agrupación vegetal empobrecida, simplificada y degradada cuya evolución natural es extremadamente lenta. Los periodos de sequía, propios de las zonas áridas y semiáridas, elevan considerablemente el riesgo de incendio. La interacción de la sequía con los incendios consiste en que aquélla provoca la pérdida de agua contenida en los tejidos y la leña seca y la materia vegetal muerta acumuladas en el suelo determinan circunstancias explosivas que elevan el riesgo de incendio, tanto de su iniciación como de su rápida propagación.

El cambio climático en nuestro país va exacerbar los índices de riesgo de incendios con la consecuente influencia en los procesos de desertificación.

#### d. Sobreexplotación de acuíferos

La explotación de los acuíferos produce descensos en sus niveles piezométricos y en los caudales de ríos y manantiales que los drenan. Si los acuíferos son pequeños este efecto puede apreciarse transcurridos algunos meses o pocos años. En el caso de bombeos discontinuos, como sucede con los riegos, una parte importante de la afección se puede trasladar a los meses en los que se demanda menos agua superficial, con lo que es posible aumentar las disponibilidades reales del recurso. En el caso de acuíferos grandes, en los que la inercia es mayor, el efecto puede tardar años en manifestarse. Salvo excepciones planificadas y coordinadas, la explotación correcta de las aguas subterráneas debe basarse, teniendo en cuenta su valor estratégico, en la utilización de los recursos renovables y no en la extracción continuada de reservas, es decir, en que los bombeos no superen la recarga del acuífero. Ahora bien, esta consideración no debe llevar al extremo de condenar toda gestión hídrica que implique extracción de reservas.

De hecho, cualquier explotación de aguas subterráneas requiere fases transitorias de desequilibrio, en las que parte del volumen aprovechado procede de reservas. Sólo si la disminución de las reservas se prolonga excesivamente, sin que se haya planificado su estabilización o recuperación, cabría presumir que existe una sobreexplotación.

El concepto de sobreexplotación aplicado a acuíferos no es fácil de definir. Algunas veces se asocia a una explotación que hace disminuir las reservas, y otras, más genéricamente, a una explotación excesiva con consecuencias indeseables para los usuarios del acuífero o para terceros, línea conceptual que es la seguida por nuestra reglamentación.

Los tipos de efectos desfavorables que podrían hacer presumir una sobreexplotación son variados: a) hidrológicos, derivados de un descenso continuado de los niveles, que puede conllevar una reducción en el caudal de los pozos, b) en la calidad del agua, deteriorada por contacto con niveles de peor calidad o por intrusión salina en acuíferos costeros, c) económicos, por aumento del coste de energía de bombeo, al tener que elevar desde mayores profundidades y con menores caudales, y de costes de inversión por reperforación de pozos y sustitución de equipos de bombeo, d) medioambientales, inducidos en manantiales, ríos, zonas húmedas, masas de freatofitas, y ecosistemas asociados, por el descenso de niveles en acuíferos vinculados a dichos espacios y e) morfológicos y geotécnicos, por fenómenos de subsidencia o hundimientos, ocasionados por el descenso de los niveles.

El cambio climático, en cuanto que potencialmente va a reducir la disponibilidad de recursos hídricos en la gran mayoría de las cuencas de España, modificará el régimen de recarga de los acuíferos y, por consiguiente, tendrá implicaciones en el proceso de desertificación en nuestro país.

### 3. Los escenarios de cambio climático futuro

Una de las primeras tareas acometidas para facilitar el desarrollo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, es la generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España a lo largo del siglo XXI. Los escenarios constituyen estimaciones de los posibles rasgos futuros del clima y sirven como referencia para elaborar análisis de impactos y vulnerabilidad futuros, específicos para diversos sectores y sistemas ecológicos, económicos y sociales.

Para construir los escenarios climáticos regionalizados, se parte de modelos climáticos globales que son adaptados a las características propias de nuestro país. Para ello, se aplican distintas técnicas (dinámicas y estadísticas) de reducción de escala, que permiten incorporar las

características climáticas y fisiográficas regionales. Producir estos escenarios constituye una labor técnica compleja que, con frecuencia requiere equipos de supercomputación, así como personal muy especializado.

En cualquier caso, los escenarios climáticos regionalizados constituyen uno de los puntos de partida imprescindibles para valorar los impactos, la vulnerabilidad y las necesidades futuras de adaptación frente al cambio climático. Por ello, uno de los retos del Plan Nacional de Adaptación es contar con una capacidad operativa suficiente, y en progreso constante, para acometer la producción de sucesivos escenarios de escala regional. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es la institución responsable de la coordinación y el desarrollo de estos escenarios. Para ello, trabaja en estrecha coordinación con los grupos de investigación españoles más activos en este campo y con la Oficina Española de Cambio Climático, que actúa como facilitadora, con el objetivo de ofrecer un “paquete” unificado de escenarios de cambio climático, convenientemente ordenado, documentado y adaptado a las demandas de diversos perfiles de usuario.

En 2008 se generó una primera colección de escenarios climáticos regionalizados, que fue puesta a disposición de los usuarios a través de la página web de AEMET, junto con la publicación, “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España”<sup>4</sup>. Dicha colección de escenarios alimentó las primeras evaluaciones sectoriales de impactos en sectores como las costas, los recursos hídricos o la biodiversidad, y han sido empleadas además por otros usuarios de diversa índole. Poco después se puso en marcha una segunda fase, que generó una nueva colección de escenarios regionalizados de cambio climático (2012), puesta a disposición de todos los usuarios a través de una interfaz flexible en la web de AEMET, y que han sido los utilizados en este ejercicio de análisis del efecto del cambio climático sobre la desertificación. Desde 2015 se encuentra disponible la tercera generación de estos escenarios regionalizados. Estas sucesivas colecciones de escenarios de cambio climático regionalizados se han generado conforme el IPCC ha producido sus correspondientes Informes de Evaluación con sus modelos globales asociados.

#### **4. Análisis de los impactos del cambio climático en los factores considerados en la determinación del riesgo de desertificación en España y generación de mapas del cambio en dicho riesgo**

Plantear una cartografía del riesgo de desertificación inducido por el cambio climático resulta complejo por las incertidumbres existentes en la información sobre la evolución de las variables climáticas, sobre los cambios de usos del suelo, el impacto de los incendios, el estado de los acuíferos, etc. Además, al tratarse de una cartografía a escala nacional, existen limitaciones de información cartográfica (aplicable a toda España a una escala razonable). Todos estos factores han obligado a realizar simplificaciones y generalizaciones que han de tenerse en cuenta a la hora de valorar los resultados.

Para la generación de mapas del cambio en el riesgo de desertificación por efecto del cambio climático se ha tomado la aproximación de generar mapas de aridez y de índice de erosividad de la lluvia (R) de la situación actual (periodo de control) y de las situaciones futuras, y se han integrado en el modelo de estimación del riesgo de desertificación, manteniendo constantes el resto de factores.

---

<sup>4</sup> [http://www.aemet.es/es/elclima/cambio\\_climat/escenarios](http://www.aemet.es/es/elclima/cambio_climat/escenarios)

#### 4.1. Datos de partida

Con el fin de determinar los valores de la aridez y del índice de erosividad de la lluvia (R) en el futuro se han utilizado los escenarios regionalizados de cambio climático elaborados por AEMET para el PNACC en 2012. Las variables de partida utilizadas para la generación de los mapas de aridez o erosividad de lluvia han sido la temperatura máxima (°C), la temperatura mínima (°C), la precipitación total acumulada (mm/mes) y la precipitación máxima en 24 horas (mm). Se utilizan los datos en rejilla ofrecidos por los Escenarios-PNACC-2012, que se ofrecen en una cuadrícula común y homogénea, de aproximadamente 20 km, para el territorio peninsular y Baleares<sup>5</sup>.

Para las proyecciones se ha utilizado un escenario intermedio de emisiones, el A1B, y se ha realizado la evaluación a corto (2011-2040), medio (2041-2070) y largo plazo (2071-2100).

#### 4.2. Contraste con datos observados y el periodo de control

Antes de iniciar el análisis es preciso disponer de una situación de partida del clima actual generada con los modelos a utilizar en las proyecciones, para compararlo con los resultados de este mismo modelo en el futuro. Es lo que se conoce como “periodo de control” (20C3M), que consiste en bases de datos de simulaciones del clima actual, resultado de aplicar los modelos con forzamientos de gases de efecto invernadero (GEI) históricos. El periodo de control que se ha tomado como referencia en este estudio es 1971-2000.

El contraste entre los datos observados (valores reales de las variables climáticas entre 1970 y 2000) y los datos del periodo de control (valores simulados con el modelo) arroja importantes diferencias, más o menos acusadas según la variable (P, T) y los distintos modelos ensayados.

En consecuencia, los mapas de aridez, factor R, y riesgo de desertificación generados con el modelo utilizado en este análisis para este periodo de partida difieren bastante de los originales. Esta es una circunstancia habitual en los estudios de impacto, pero hay que tener en cuenta que el objetivo principal es analizar las diferencias entre la situación actual y las futuras en base a la evolución de los datos de precipitación y temperatura pronosticada.

Estas diferencias producen un desplazamiento de las clases de riesgo más altas inicialmente identificadas hacia las más bajas en el periodo de control. En definitiva, se parte de una situación simulada de partida teórica en la que el riesgo de desertificación es más bajo que el que muestra el mapa del PAND.

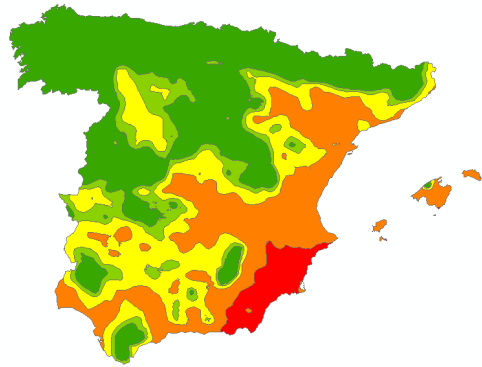
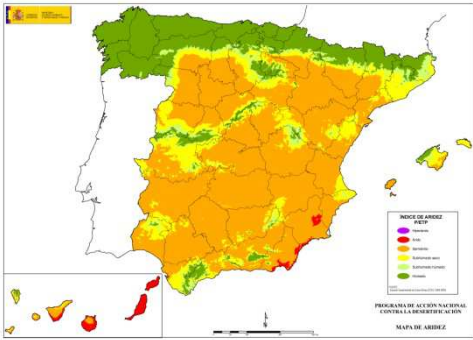
En la figura 4 pueden apreciarse estas diferencias en las situaciones de partida, si bien se insiste en que lo importante son las variaciones entre el periodo de control y la situación proyectada, por lo que la precisión de los valores absolutos no es determinante.

---

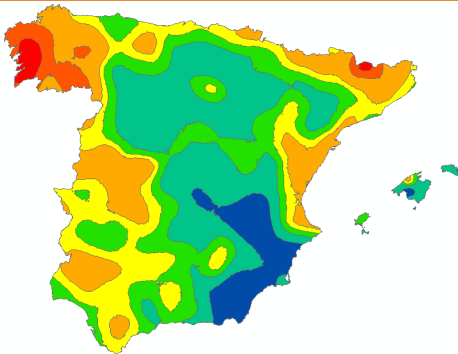
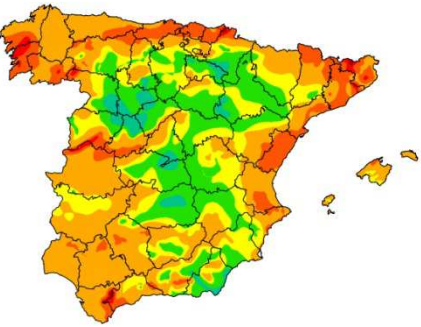
<sup>5</sup> Los datos facilitados para este trabajo no incluyen a Canarias, por lo que no se incluyen en el análisis.



Mapa de aridez utilizado en el PAND. Mapa de aridez con los datos del período de control 20C3M (ESTCENA FIC\_CN3M3)



Mapa de factor R utilizado en Mapa de Estados Erosivos Mapa de factor R aridez con los datos del período de control 20C3M (ESTCENA FIC\_CN3M3)



Mapa de riesgo de desertificación del PAND Mapa de riesgo de desertificación para el periodo de control 20C3M (ESTCENA FIC\_CN3M3)

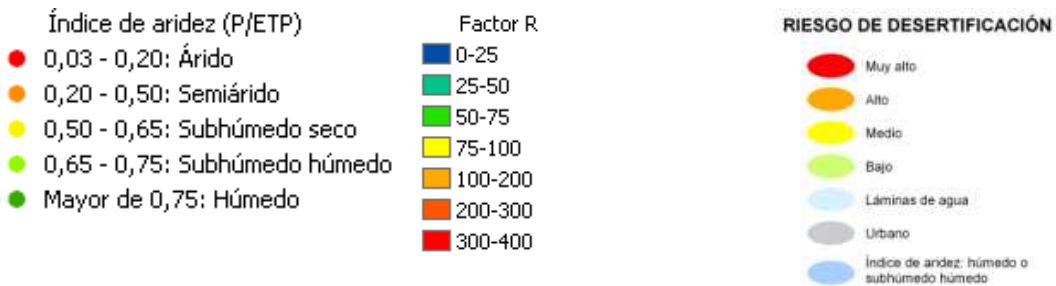
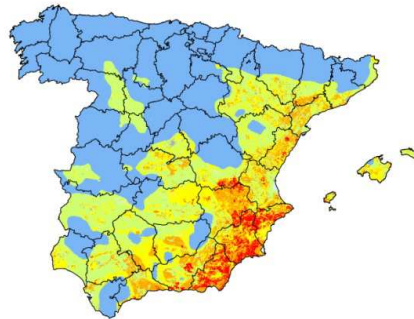
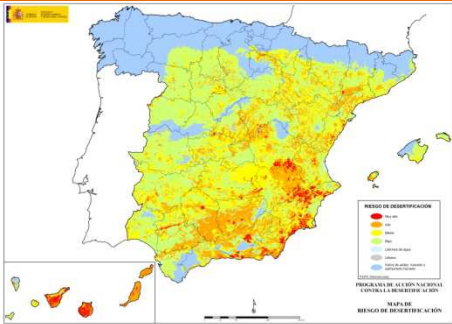


Figura 4: Comparación situaciones de partida entre mapas generados con datos observados y datos del periodo de control en el periodo de referencia (1971-2000)

### 4.3. Evolución de las variables de partida

Se ha analizado la evolución de estas variables para todo el periodo 2011-2100 con tres modelos seleccionados inicialmente (ESCENA UCLM PRO HADCM3Q3, ENSEMBLES ECHAM5 KNMIA1B r5 y ESTCENA FIC CNCM3), con los siguientes resultados:

- Las proyecciones de temperaturas de los tres modelos pronostican un aumento sostenido de las mismas a lo largo del siglo.
- Asimismo, muestran una reducción de la precipitación media acumulada anual, aunque los porcentajes de cambio varían según el modelo utilizado.
- En cuanto a las precipitaciones máximas diarias, no se muestran en las proyecciones tendencias significativas. En dos de los modelos utilizados se observa una tendencia ligeramente ascendente, mientras que, en el tercero, la tendencia es ligeramente descendente. En los tres casos, las variaciones son muy reducidas.

Tras un análisis detallado de estos tres modelos utilizados, se eligió utilizar la proyección ESTCENA-FIC-CNCM3 por ser, de las tres proyecciones analizadas, la que en el periodo de control se aproximaba más a los datos observados en las variables principales (temperaturas medias anuales mínimas, medias y máximas y precipitación total media anual).

### 4.4. Evolución del índice de aridez

Con los datos de precipitación media mensual, temperatura media de las máximas mensuales y temperatura media de las mínimas mensuales, se estima la evapotranspiración potencial (ETP) para cada punto de la rejilla mencionada en el apartado 4.1., utilizando el método Thornthwaite en cada punto de dicha rejilla e interpolando para obtener el mapa de aridez.

Con los resultados de evapotranspiración potencial se calcula el índice de aridez, de acuerdo al índice del PNUMA.

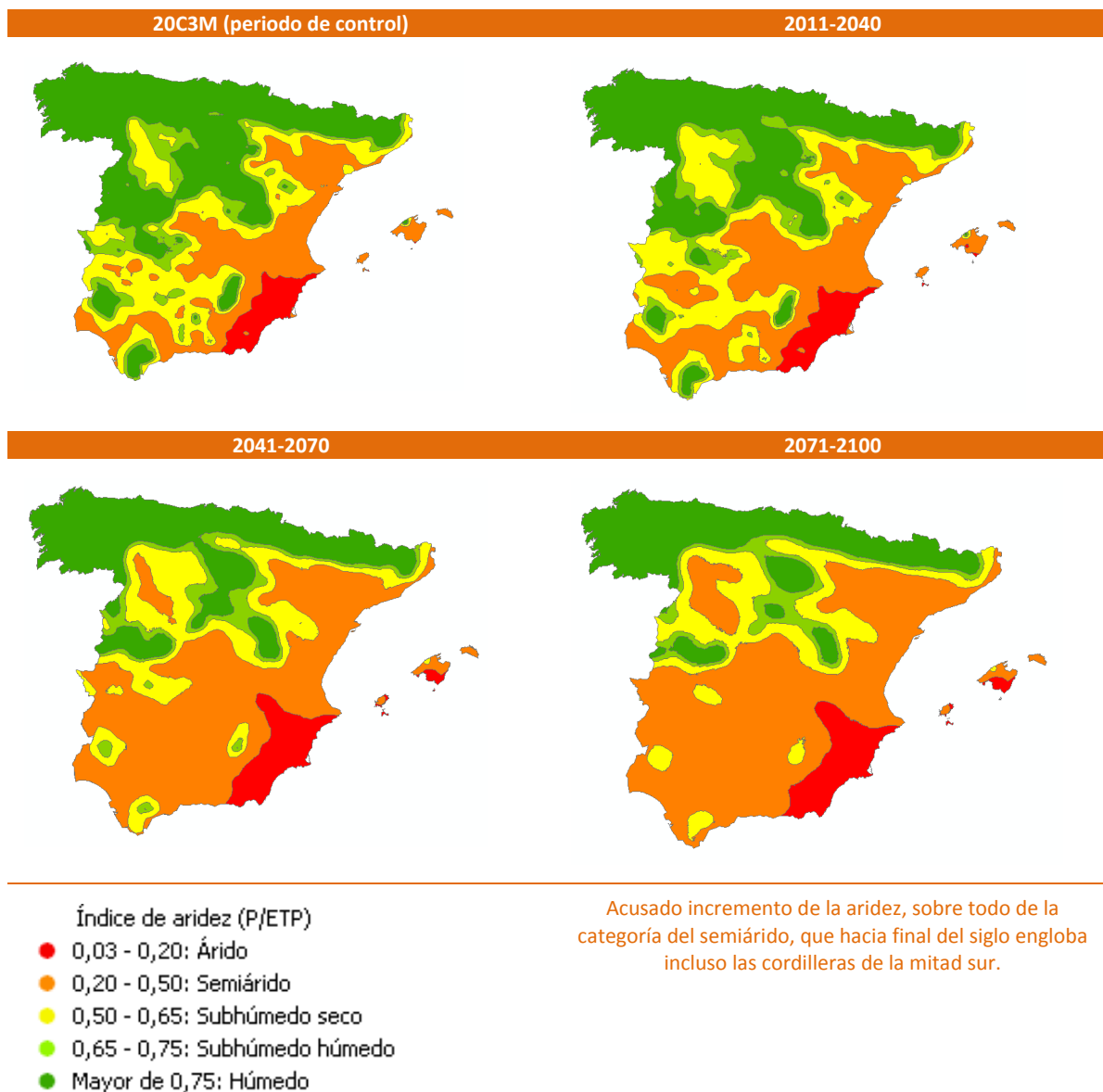
Se puede observar el incremento de la superficie en las categorías de mayor aridez, muy poco acusado en la categoría más árida y muy acusado en la categoría del semiárido, sobre todo a partir del segundo periodo considerado, 2041-2070.

Índice de aridez	1971-2000 (periodo de control)	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Árido	4,40%	4,39%	6,17%	6,38%
Semiárido	23,43%	29,53%	43,30%	49,81%
Subhúmedo seco	21,53%	22,56%	17,46%	15,36%
Subhúmedo húmedo	11,22%	9,52%	7,07%	6,25%
Húmedo	39,41%	34,01%	26,00%	22,20%

**Tabla 2: Variación del porcentaje de superficie en cada tipo de aridez**

Comparando las distribuciones de superficie en cada clase de aridez entre el periodo de control y el periodo de fin de siglo XXI, se observa la importancia del incremento de aridez pronosticado.

En la figura 5 se puede observar la evolución del índice de aridez, a corto, medio y largo plazo en comparación con el periodo de control (20C3M: 1971-2000).



**Figura 5: Evolución interpolada del índice de aridez**

#### 4.5. Evolución del índice de erosividad de la lluvia

El factor R o factor de erosividad de la lluvia representa la capacidad de las precipitaciones para producir erosión en los suelos, y forma parte de los parámetros considerados para la estimación de las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE).

Para su cálculo en este análisis se utilizó el procedimiento empleado en el Mapa de Estados Erosivos (MEE) y en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), tanto para los datos actuales (periodo de control) como para los datos procedentes de las predicciones a futuro. Además, se utiliza la zonificación de la distribución mensual del factor R del estudio “Agresividad de la lluvia en España” del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1988).

Para la estimación de todos los parámetros necesarios para calcular R, se utilizan los datos de precipitación total mensual y de precipitación máxima en 24 horas mensual.

Al igual que en el cálculo de la ETP y el índice de aridez (apartado 4.4), se han utilizado los datos en rejilla ofrecidos en Escenarios-PNACC 2012, con los que se ha calculado el factor R en cada punto de rejilla, procediendo después a la interpolación.

Con respecto a la evolución de R, es necesario aclarar que la elaboración de estas ecuaciones se basa en datos procedentes de pluviógrafos y en una distribución mensual de la lluvia para unos años concretos, hipótesis que se están trasladando al futuro. En caso de que, tal y como apuntan muchas estimaciones y proyecciones de cambio climático, se produjera una mayor irregularidad de la distribución en las precipitaciones y un incremento de la torrencialidad, es decir, de la intensidad máxima de la lluvia, los resultados podrían ser diferentes.

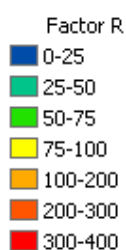
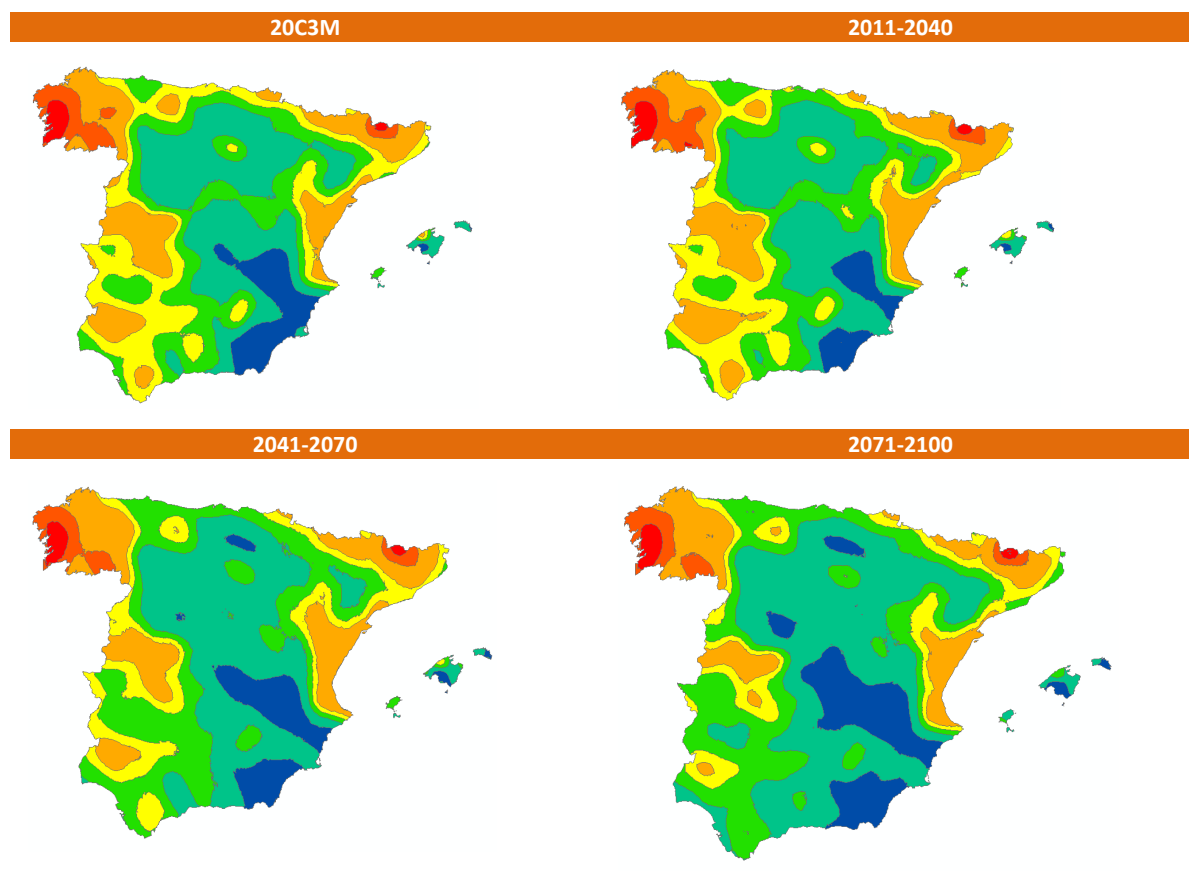
La variación del porcentaje de superficie en cada intervalo de valores del factor R refleja el incremento de la superficie en las categorías de menor agresividad de la lluvia, por debajo de 50, en el tercer y cuarto periodos del siglo XXI y el descenso de superficie con índices de agresividad medios y altos. Es muy poco acusado el descenso en las áreas de mayor agresividad. Sin embargo, la tendencia en el periodo 2011-2040 es la contraria, reflejando un ligero incremento del factor R en todo el territorio nacional.

Factor R	1971-2000 (período de control)	2011-2040	2041-2070	2071-2100
0-25	7,17%	4,83%	7,95%	11,88%
25-50	28,85%	27,94%	33,56%	38,78%
50-75	22,26%	22,84%	25,02%	23,76%
75-100	19,60%	18,53%	13,51%	9,88%
100-200	17,72%	20,74%	16,17%	12,06%
200-300	3,25%	3,79%	2,78%	2,61%
300-400	1,16%	1,33%	1,01%	1,03%

**Tabla 3: Variación del porcentaje de superficie para distintos niveles de R**

Comparando las distribuciones de superficie en cada intervalo de valores del factor R entre el periodo de control y el periodo de fin de siglo XXI, se observa el desplazamiento generalizado hacia valores más bajos del índice de agresividad de la lluvia.

En la figura 6 se puede apreciar la evolución del factor R de erosividad de la lluvia a corto, medio y largo plazo en comparación con el periodo de control (20C3M: 1971-2000).



Las áreas que en la actualidad tienen un índice mayor de erosividad de la lluvia (Galicia, Pirineo) experimentan variaciones muy pequeñas. Las zonas con valores entre 100 y 200 (Levante, zona costera catalana y el suroeste de la península) amplían sus límites en el primer periodo (2011-2040) para ir disminuyendo paulatinamente a lo largo del resto del siglo por debajo de los valores para el periodo de control, excepto en la zona de Levante, en la que termina el siglo con valores muy parecidos a los del periodo de control.

Figura 6: Evolución de distribuciones de superficie en cada intervalo de valores del factor R entre el periodo de control y el periodo de fin de siglo XXI

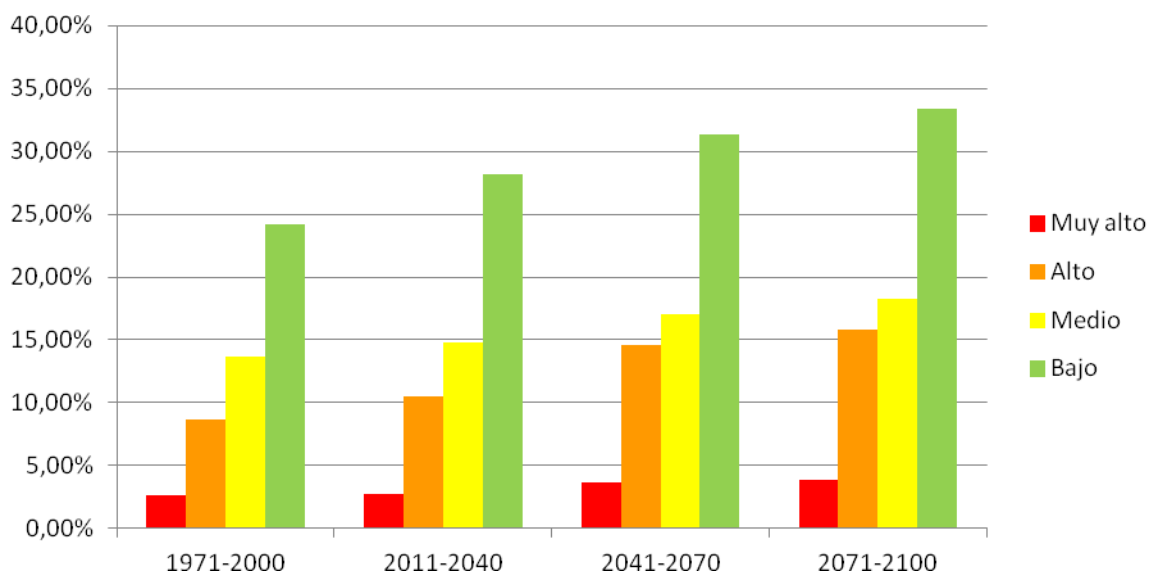
## 5. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación

### 5.1. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación por cambios en la aridez

Para obtener los resultados de este análisis de forma cartográfica se ha sustituido la capa de aridez original del mapa de riesgo de desertificación del PAND por la generada para cada periodo considerado en este análisis.

En la figura 7 se refleja la evolución estimada del porcentaje de superficie (respecto a la superficie total de España (excepto Canarias), eliminando las láminas de agua y el suelo urbano) en cada clase de riesgo de desertificación como consecuencia de los cambios pronosticados en la aridez.

La principal conclusión es que, como consecuencia de los cambios previstos en la aridez, el riesgo de desertificación aumenta en todas las zonas, y buena parte del territorio (22%) que antes se consideraba fuera de la definición de desertificación por motivos climáticos, pasaría a formar parte de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Los mayores incrementos relativos se producirían en las categorías de riesgo muy alto y alto, que se incrementan en un 45,5 y 82,4%, respectivamente.



**Figura 7: Evolución de las clases de riesgo de desertificación por cambios en la aridez**

Clase de riesgo de desertificación	Incremento del porcentaje fin de siglo respecto a periodo de control
Muy alto	45,50%
Alto	82,36%
Medio	33,95%
Bajo	38,22%
Superficie de zonas húmedas y subhúmedas húmedas	-43,58%

**Tabla 4: Incremento del porcentaje del riesgo de desertificación a finales de siglo respecto al periodo de control**

En la figura 8 se puede apreciar cartográficamente la evolución mostrada en la tabla y en la gráfica anteriores.



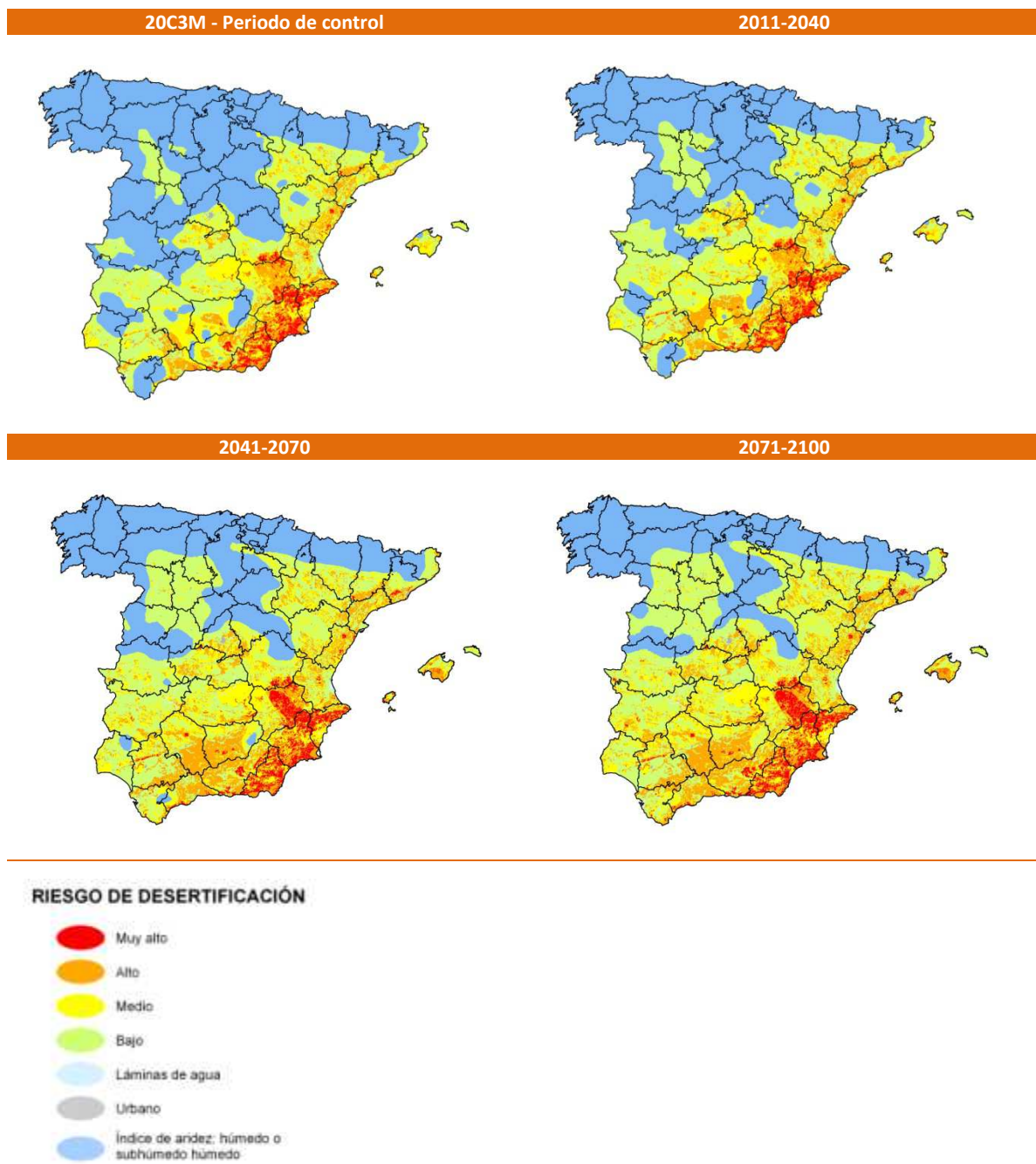


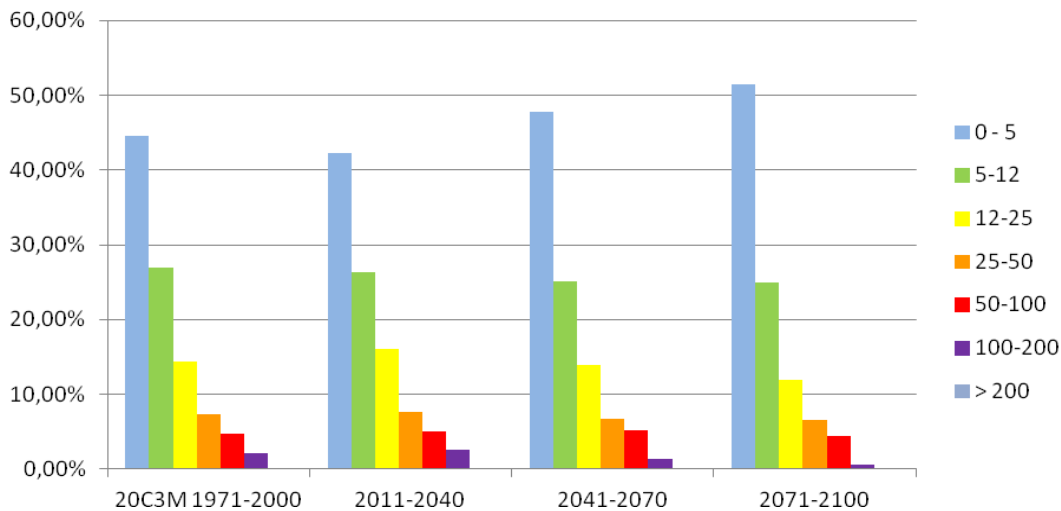
Figura 8: Mapa de evolución del riesgo de desertificación considerando cambios en la aridez

## 5.2. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación por cambios del factor R

Como en el caso anterior, los resultados de este análisis de forma cartográfica se han obtenido sustituyendo la capa de factor R original del mapa de riesgo de desertificación del PAND por la generada para cada periodo considerado en este análisis.

La figura 9 refleja la evolución del porcentaje de superficie (respecto a la superficie total de España -excepto Canarias-, eliminando las láminas de agua y el suelo urbano) en cada nivel erosivo o intervalos de pérdida de suelo como consecuencia de los cambios previstos en el factor R.

Los resultados obtenidos están en lógica consonancia con el análisis de la evolución de la erosividad de la lluvia. El porcentaje de superficie en el intervalo de pérdidas más bajo (entre 0 y 5 t/ha-año) se incrementa en el largo plazo tras un descenso a corto plazo. Todas las demás clases sufren decrecimientos a largo plazo, aunque muy ligeros. En el corto plazo, los porcentajes de superficie en los niveles erosivos por encima de 12t/ha-año experimentan ligeros aumentos.



**Figura 9: Porcentaje de superficie nacional en cada nivel erosivo**

Analizando la variación del porcentaje de superficie en cada clase entre los periodos 2071-2100 y el periodo de control 1971-2000, se observa el descenso generalizado. En términos relativos, la disminución de los porcentajes en las clases más altas de pérdidas, por encima de 100 t/ha-año, es mayor que en las clases intermedias. Se puede interpretar como otra consecuencia de la escasa sensibilidad de las proyecciones en la detección de los eventos extremos.

Niveles erosivos (t/ha-año)	Variación del porcentaje de superficie en cada clase entre los periodos 2071-2100 y el periodo 1971-2000
0 - 5	15,77%
5-12	-7,44%
12-25	-16,68%
25-50	-10,74%
50-100	-6,38%
100-200	-69,84%
> 200	-77,20%

**Tabla 5: Variación del porcentaje de superficie en cada nivel erosivo en el siglo**

En definitiva, la estimación mediante el modelo USLE de las pérdidas de suelo por erosión hídrica como consecuencia del cambio climático apunta a un ligero incremento a corto plazo y a la disminución generalizada de las pérdidas a largo plazo. Resultado que era lógico esperar dado que se pronostica una disminución de la precipitación media y que los modelos muestran una ligera reducción de las precipitaciones máximas diarias, lo que conlleva que prevean una disminución de la capacidad erosiva de la lluvia.

En la figura 10 se puede apreciar cartográficamente la evolución mostrada en la tabla anterior.

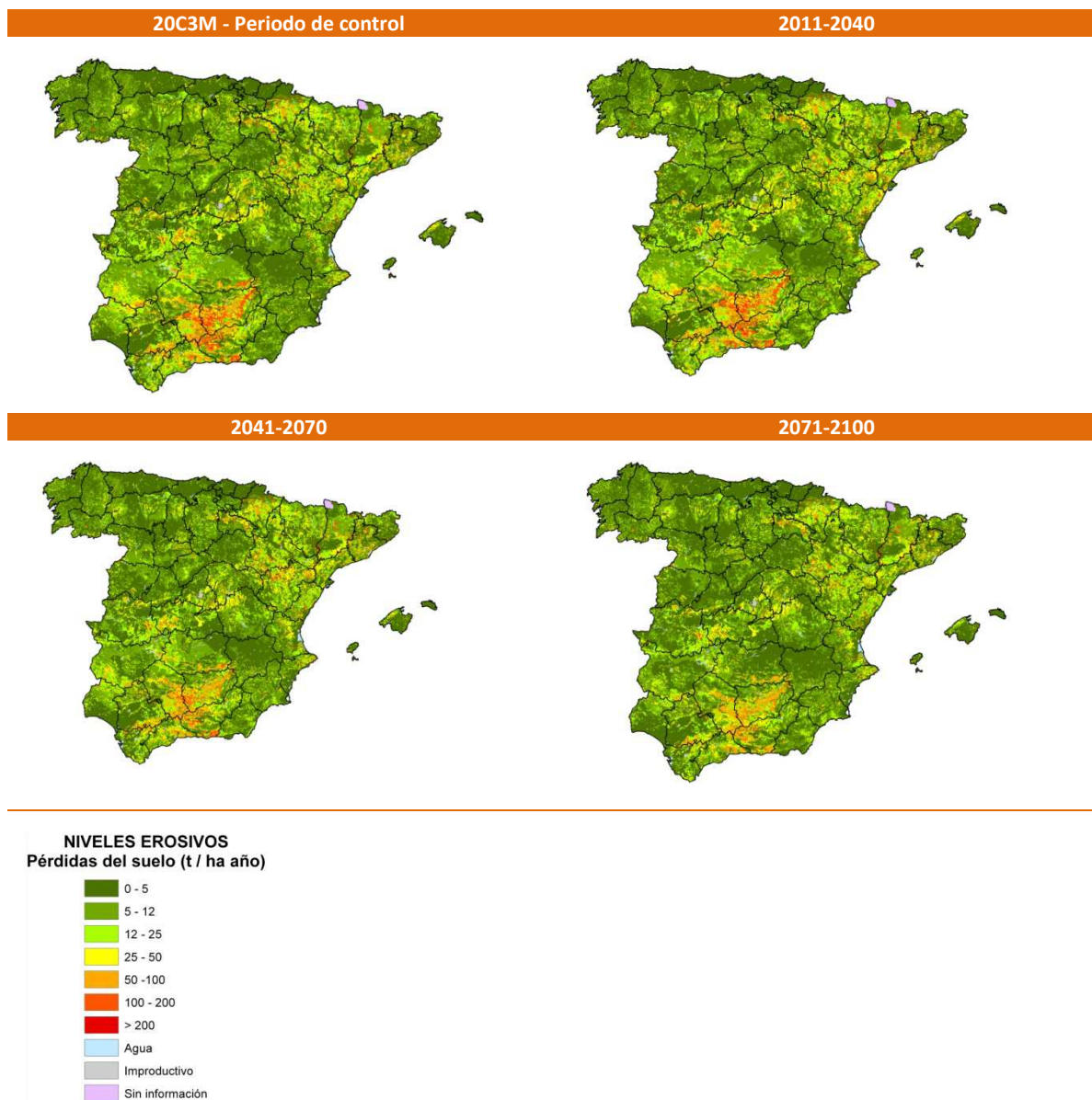


Figura 10: Mapa de pérdidas de suelo por erosión hídrica considerando los cambios en el Factor R

### 5.3. Cambios en el mapa de riesgo de desertificación como consecuencia del incremento de aridez y de los cambios en la erosividad de la lluvia

Con toda la información analizada en esta sección, se han generado los mapas de riesgo de desertificación consecuencia del incremento de aridez y los cambios en la erosividad de la lluvia como resultado de la aplicación de los escenarios futuros de cambio climático.

Como ya se ha explicado anteriormente, estos mapas se han generado sustituyendo, en el mapa de riesgo de desertificación del PAND, la capa de aridez original por la resultante de este análisis y la capa de pérdidas de suelo por erosión hídrica original del Mapa de Estados Erosivos por la capa de pérdidas de suelo por erosión hídrica generada utilizando los mapas de R obtenidos con las proyecciones utilizadas en este análisis.

La tabla 6 recoge la evolución del porcentaje de superficie (respecto al total de superficie de España excepto Canarias eliminando láminas de agua y urbano) en cada clase de riesgo de

desertificación como consecuencia de los cambios pronosticados en la aridez y en la erosividad de la lluvia (factor R).

Si se consideran conjuntamente la aridez y el factor R, todas las clases de riesgo sufren incrementos, pero son de bastante menor cuantía que teniendo únicamente en cuenta los cambios en la aridez. Es decir, las diferencias entre los porcentajes de fin de siglo y el periodo de control (ver tabla 6) son menores en la hipótesis de “cambio en aridez y erosión” que en la hipótesis “cambio en aridez”.

CONSIDERANDO CAMBIOS EN ARIDEZ Y FACTOR R				
Clase de riesgo de desertificación	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Muy alto	0,54%	0,88%	0,94%	0,95%
Alto	5,09%	7,17%	10,77%	10,34%
Medio	14,54%	15,64%	15,77%	15,20%
Bajo	28,92%	32,46%	39,15%	44,78%
Total Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas	49,09%	56,15%	66,63%	71,27%
Superficie de zonas húmedas y subhúmedas húmedas	50,91%	43,85%	33,37%	28,73%

CONSIDERANDO CAMBIOS EN ARIDEZ				
Clase de riesgo de desertificación	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Muy alto	2,64%	2,70%	3,67%	3,85%
Alto	8,65%	10,47%	14,57%	15,77%
Medio	13,65%	14,81%	17,07%	18,28%
Bajo	24,15%	28,18%	31,32%	33,38%
Total Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas	49,09%	56,15%	66,63%	71,27%
Superficie de zonas húmedas y subhúmedas húmedas	50,91%	43,85%	33,37%	28,73%

Nota: porcentajes calculados respecto al total de superficie de España (excepto Canarias) eliminando láminas de agua y urbano

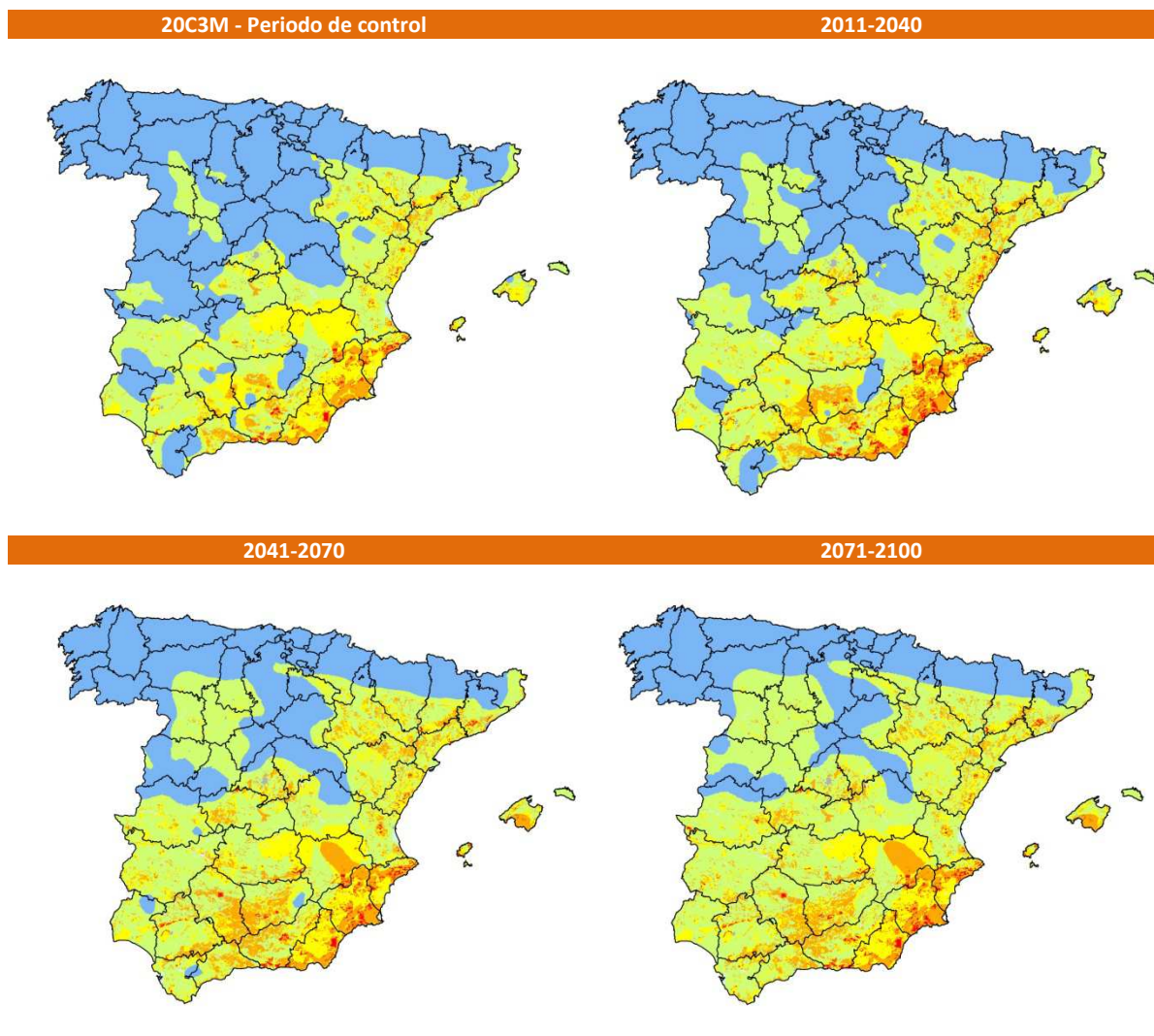
**Tabla 6: Evolución del cambio (porcentaje de territorio) de las clases de riesgo de desertificación en España, considerando distintos factores**

Clase de riesgo de desertificación	Diferencia entre porcentaje fin de siglo y periodo de control	
	CONSIDERANDO CAMBIOS EN ARIDEZ	CONSIDERANDO CAMBIOS EN ARIDEZ Y FACTOR R
Muy alto	1,20%	0,41%
Alto	7,12%	5,25%
Medio	4,63%	0,66%
Bajo	9,23%	15,88%
Superficie de zonas húmedas y subhúmedas húmedas	-22,19%	-22,19%

**Tabla 7: Comparación de la evolución de las clases de riesgo de desertificación considerando distintos factores**

La representación cartográfica de esta evolución se puede observar en la figura 11.





**RIESGO DE DESERTIFICACIÓN**

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Láminas de agua
- Urbano
- Índice de aridez: húmedo o subhúmedo húmedo

Figura 11: Mapa de riesgo de desertificación, considerando cambios en aridez y factor R (ESTCENA FIC\_CNCM3)

## 6. Resumen, conclusiones y resultados

El planteamiento metodológico para la generación de mapas de riesgo de desertificación inducido por el cambio climático y su comparación con la situación actual ha tenido como base la metodología utilizada en el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND, 2008). Éste se elaboró a través de la aplicación de un modelo basado en la caracterización de la superficie nacional de acuerdo a la intensidad en que se presentan determinados factores y

procesos de desertificación: índice de aridez, erosión, incendios y sobreexplotación de acuíferos.

De entre todos los factores y/o parámetros que intervienen en el mapa de riesgo de desertificación, se ha considerado que los más directamente implicados con las variables climáticas y, por tanto, susceptibles de ser proyectados para valorar el riesgo futuro de desertificación por efecto del cambio climático, son el índice de aridez y la erosión del suelo (en concreto, el factor R de erosividad de la lluvia).

Hay que destacar que, en función de la información recopilada, las estimaciones sobre el efecto del cambio climático en las tasas de erosión están sujetas a cierto grado de incertidumbre. Esto se debe a varios factores, pero merece la pena destacar las incertidumbres en las proyecciones de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación, información de gran importancia para el cálculo de la erosividad de la lluvia. Estas incertidumbres son reconocidas, y de hecho, el IPCC señala, en su Informe Especial de Eventos Extremos (SREX 2012), que en la región del sur de Europa y el Mediterráneo las predicciones de precipitaciones fuertes tienen un bajo nivel de confianza. Sí prevé un cambio en la intensidad de las precipitaciones fuertes, pero mientras que en algunas regiones se espera un aumento de la intensidad en todas las estaciones menos en verano, en otras regiones, como la península ibérica, se prevé una disminución hacia el fin del siglo XXI.

La generación de los mapas de riesgo de desertificación en función de los escenarios de cambio climático se ha basado en la obtención de los mapas de aridez y mapas del índice de erosividad de la lluvia (R) en condiciones climáticas actuales (periodo de control) y en las futuras proyectadas. Estos mapas se han integrado en el modelo de estimación del riesgo de desertificación, manteniendo constantes el resto de factores implicados (cambios en la cubierta vegetal y usos del suelo, riesgo de incendios y estado de los acuíferos) por no contar con proyecciones adecuadas de estas coberturas.

Para la generación de los mapas de aridez y del índice de erosividad R se ha utilizado como base de partida la segunda colección de escenarios de cambio climático regionalizados del PNACC, lo que garantiza la coherencia y eficacia del uso de recursos públicos y favorece la coordinación y cooperación entre todos los usuarios de la comunidad de impactos y adaptación en España a distintas escalas.

Las variables de partida utilizadas han sido temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación total acumulada y precipitación máxima 24 horas, en formato rejilla, que cubre España peninsular y Baleares.

La evolución de las variables de partida es la siguiente en las proyecciones analizadas: aumento sostenido de las temperaturas, reducción de la precipitación media acumulada anual y ausencia de tendencias significativas en las precipitaciones máximas diarias.

Con respecto a la evolución de los valores del índice de aridez, se constata un incremento de la aridez a lo largo del siglo, aumento asociado al de la temperatura media. Este incremento de las temperaturas, junto con el esperado descenso de las precipitaciones se aúnan para que se produzca un aumento generalizado de la aridez en todo el territorio.

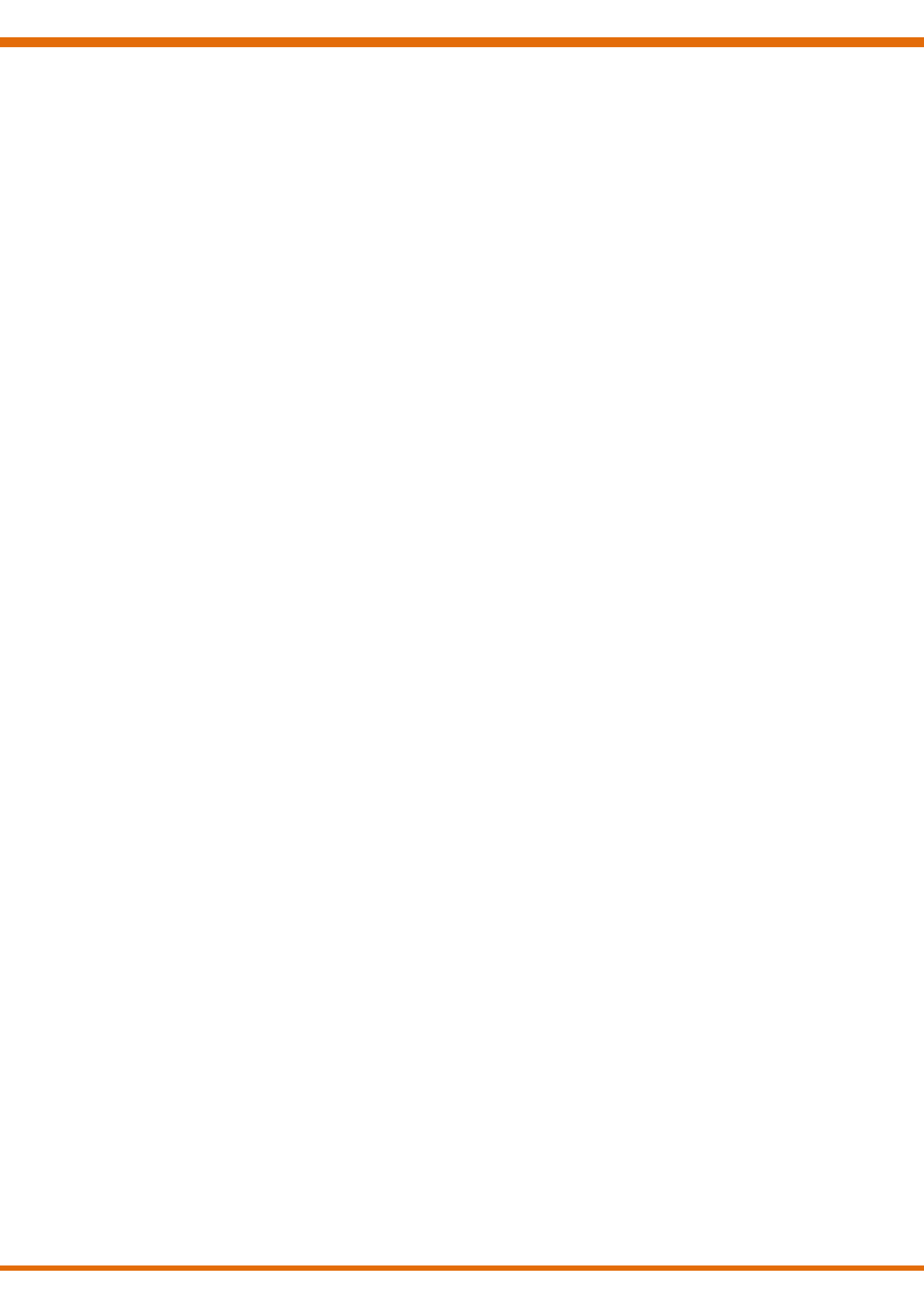
En relación con la evolución de los valores del factor R, la pauta de comportamiento a lo largo del siglo es de un ligero aumento durante el segundo o tercer periodo de siglo, seguido por una disminución al final del periodo. Esta evolución está muy condicionada por la menor precisión de los modelos climáticos para estimar el comportamiento de las precipitaciones y, en particular, en lo que respecta a las futuras pautas de eventos de precipitaciones intensas.



Como resultado conjunto de este análisis pueden subrayarse los siguientes puntos:

- Se observa un incremento de la superficie en las categorías de mayor aridez, muy poco acusado en la categoría más árida y muy acusado en la categoría de semiárido, sobre todo, a partir del segundo periodo considerado (2041-2070). En la figura 7 puede apreciarse cartográficamente este incremento.
- Se espera un ligero incremento del factor R en el periodo 2011-2040 en todo el territorio nacional, sin embargo, en el periodo de fin de siglo, en comparación con el periodo de control, se observa el desplazamiento generalizado hacia valores más bajos del índice de agresividad de la lluvia.
- Analizando los cambios en el mapa de riesgo de desertificación como consecuencia de las predicciones en la aridez, se observa que el riesgo aumenta en todas las zonas, y buena parte del territorio (22%), que antes se consideraba fuera de la definición de desertificación por cuestiones climáticas, pasaría a formar parte de la zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Además, los mayores incrementos relativos del porcentaje de superficie en cada clase entre los periodos 2071-2100 y el periodo de control se dan en las categorías de riesgo muy alto y alto, que aumentan en un 45,5 y un 82,4%, respectivamente.
- Analizando los cambios en el mapa de riesgo a consecuencia del factor R, se apunta a un ligero incremento a corto plazo de las pérdidas del suelo por erosión hídrica y una disminución generalizada de las pérdidas a largo plazo, resultado que era lógico esperar dado que los modelos pronostican una disminución de la precipitación media y una ligera reducción de las precipitaciones máximas diarias.
- Si analizamos conjuntamente los efectos de la evolución de la aridez y la erosión en la desertificación, los cambios en el mapa de riesgo de desertificación muestran que todas las clases de riesgo sufren incrementos, pero son de bastante menor cuantía que si solamente se tiene en cuenta la influencia de la aridez. Este análisis ofrece una aproximación cualitativa, no cuantitativa. En este contexto es como deben interpretarse los resultados, que no pueden ni deben pretender determinar qué tendencia adquiere más relevancia, si la variación de la aridez o la evolución de la erosión, máxime teniendo en cuenta las incertidumbres de las proyecciones en el pronóstico de los eventos extremos que son los causantes de los episodios erosivos más graves.

En cualquier caso, aun cuando no se produjeran incrementos cuantitativamente importantes de las pérdidas de suelo, el incremento previsto de la aridez apunta a un aumento del riesgo de desertificación. Es evidente que los ecosistemas más frágiles, con menos capacidad para adaptarse a los cambios previstos en la temperatura y la precipitación serán los más vulnerables frente a la degradación.





# IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PROCESOS DE DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE