CAPÍTULO 6

ESCENARIOS DE CAMBIO

Dadas las crecientes demandas de tierras y los desafíos emergentes relacionados con la degradación de la tierra y el cambio climático, los responsables de la formulación de políticas requieren información sobre las posibles consecuencias. Este capítulo analiza las tendencias hasta 2050 a través de los Escenarios Socioeconómicos Compartidos, basados en el informe '*Análisis del impacto de los cambios en el uso y las condiciones de la tierra en la alimentación, el agua, la mitigación del cambio climático y la biodiversidad: Escenarios para la Perspectiva Global de la Tierra, de la UNCCD (CNULD)*. '[1]

Distintos escenarios indican grandes diferencias en el uso futuro de la tierra, aunque el África subsahariana, el Oriente Medio, África del Norte, Asia Meridional y, en menor medida, el Sudeste Asiático son las regiones que soportarán el peso del crecimiento demográfico y del consumo general, con una presión cada vez mayor sobre los recursos terrestres restantes. En todos los escenarios se espera un cambio regional más fuerte con respecto al uso de la tierra en el África Subsahariana. Sin embargo, la mejor tierra ya está en uso y la expansión se llevará a cabo, cada vez más en tierras menos productivas, con rendimientos más bajos. En varias regiones queda poca tierra donde pueda expandirse la agricultura o, como en el caso de Asia del Sur, solo quedan tierras más marginales, .

También se prevén amplios cambios en la condición de los recursos de la tierra debido al continuo cambio del uso dado a la tierra y al deterioro del suelo, la cobertura de la tierra y la biodiversidad. Se prevé que la pérdida de biodiversidad, en términos de abundancia media de especies, continúe en un 4–12% hasta 2050, según el escenario, y prosiga hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XXI. Los cambios en la cobertura de la tierra y la calidad del suelo tienen un efecto en la probabilidad de inundación y sequía. Los efectos se agravan en las tierras secas, que también se enfrentan a un crecimiento demográfico superior al promedio. Casi el 20% de la superficie de terreno del África Subsahariana muestra una pérdida de productividad cuando se corrigen los efectos climáticos, el porcentaje se sitúa entre el 5% y el 10% para la mayoría de las demás regiones. A nivel mundial, es posible que para 2050 haya una

expansión adicional del 5% en las tierras de cultivo para compensar estas pérdidas de productividad.

Hasta la fecha, el carbono orgánico global del suelo se ha reducido en 176 Gt en comparación con el estado natural, no perturbado. De continuar las tendencias actuales, las emisiones antropogénicas de carbono relacionadas con las tierras y procedentes del suelo y la vegetación añadirán alrededor de 80 Gt de carbono a la atmósfera en el período 2010–2050, lo que equivale a unos 8 años de las actuales emisiones globales de carbono procedentes de combustibles fósiles. La reducción de estas emisiones proyectadas de fuentes terrestres dejaría más intacto el presupuesto mundial de carbono disponible de 170–320 Gt C (es decir, la cantidad de emisiones de CO_2 que pueden emitirse todavía sin poner en peligro el objetivo de mantener el aumento promedio de la temperatura global por debajo de 2 °C). El potencial mundial para almacenar carbono en los suelos es considerable, aunque requiere el desarrollo de unos sistemas agrícolas que combinen altos rendimientos y niveles de carbono orgánico del suelo casi naturales.

INTRODUCCIÓN

Los escenarios mundiales sobre cambio en el uso de la tierra y la degradación de la misma representan posibles argumentos, descripciones y evaluaciones de lo que puede deparar el mañana, por ejemplo, el posible estado futuro del uso, la demanda y la condición de los recursos de la tierra. Los escenarios aquí presentados son una herramienta para analizar incertidumbres asociadas con posibles vías de desarrollo futuro enfocadas en las dimensiones humanas y ambientales relevantes.[2] La creciente demanda de alimentos, agua, energía, vivienda y otros bienes y servicios basados en la tierra, y los consecuentes impactos en la calidad y productividad de la tierra, es el eje central de estos escenarios.

El objetivo principal de un escenario en este contexto es ayudar a los organismos decisorios a explorar y moldear el futuro y materializar una visión a largo plazo de desarrollo sostenible para todos. En la tercera parte de esta *Perspectiva* los escenarios que reducen la presión sobre los recursos de nuestra tierra se traducen en principios ampliamente entendidos y en vías de respuesta. Al analizar las diversas presiones y fuerzas que impulsan el cambio en el uso de la tierra y la degradación de la misma, los escenarios también permiten que una serie de partes interesadas en diversos ámbitos comprueben cómo ayudará la demanda esperada de recursos de la tierra y la gestión de ésta a lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODG) y sus metas, concretamente la meta ODG 15.3 sobre neutralidad en la degradación de la tierra.

Trayectorias Socioeconómicas Compartidas

El modelado global requiere una metodología, basada en el desarrollo de argumentos coherentes, y posteriormente un modelado transparente.[3] Recientemente se han desarrollado las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSPs, por sus siglas en inglés) con objeto de facilitar un marco para el análisis de escenarios que tiene en cuenta múltiples fuerzas impulsoras del desarrollo económico, la población, el desarrollo tecnológico, el uso de la tierra y la cooperación internacional.

Las SSPs representan caracterizaciones alternativas de posibles futuros de sociedad que pueden ser útiles a diferentes comunidades de investigación, por ejemplo, descripciones narrativas de tendencias futuras e información cuantitativa sobre algunos de los elementos clave. Este capítulo se basa en el análisis de escenarios[4] emprendido por la Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (PBL, por sus siglas en holandés) en colaboración con la Universidad de Wageningen, la Universidad de Utrecht y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, y con el apoyo de muchos expertos de diferentes campos y organizaciones. Presenta los resultados de tres escenarios explorativos (SSP1–3) y una variante del escenario SSP2 (escenario de pérdida de productividad) con objeto de estimar el orden de magnitud de los cambios globales en el uso de la tierra y la condición hasta el año 2050 según diferentes trayectorias de desarrollo de sociedad.

Tabla 6.1: Hipótesis incluidas en los tres escenarios SSP.

	SSP1 Sostenibilidad	SSP2 Mitad del camino	SSP3 Fragmentación
Globalización del comercio	Alta	Medio	Bajo
Consumo de carne	Bajo	Medio	Alta
Regulación del cambio del uso de la tierra	Estricta	Moderada	Reducida
Mejora del rendimiento de los cultivos	Alta	Medio	Bajo
Eficiencia del sistema ganadero	Alta	Medio	Bajo

Estos escenarios cuantitativos integran un conjunto de suposiciones internamente consistentes dentro de un argumento coherente. El escenario «Mitad del camino» (SSP2) se caracteriza por la continuación de las tendencias actuales (lo de siempre); el escenario «Sostenibilidad» (SSP1) representa un mundo más equitativo y próspero que lucha por el desarrollo sostenible y, por último, el escenario «Fragmentación» (SSP3) retrata un mundo dividido, con un bajo desarrollo económico, alto crecimiento demográfico y escasa preocupación por el medio ambiente.

Con el fin de explorar el impacto de los cambios en la condición de la tierra, se creó una variante del escenario SSP2. El escenario «SSP2 pérdida de productividad» incluye, además del SSP2, el impacto de una disminución de la productividad, calidad del suelo o de la cobertura de la tierra consecuencia de una mala gestión de la tierra. Supone la continuación de la disminución de la productividad primaria neta entre 1982–2010, como se observa mediante técnicas de teledetección y corregida para efectos climáticos, hasta el 2050. Con el fin de discernir la magnitud de los cambios en la condición de la tierra debido a su mala gestión y no al cambio climático, los datos se han corregido considerando los efectos del cambio climático para ese mismo período.

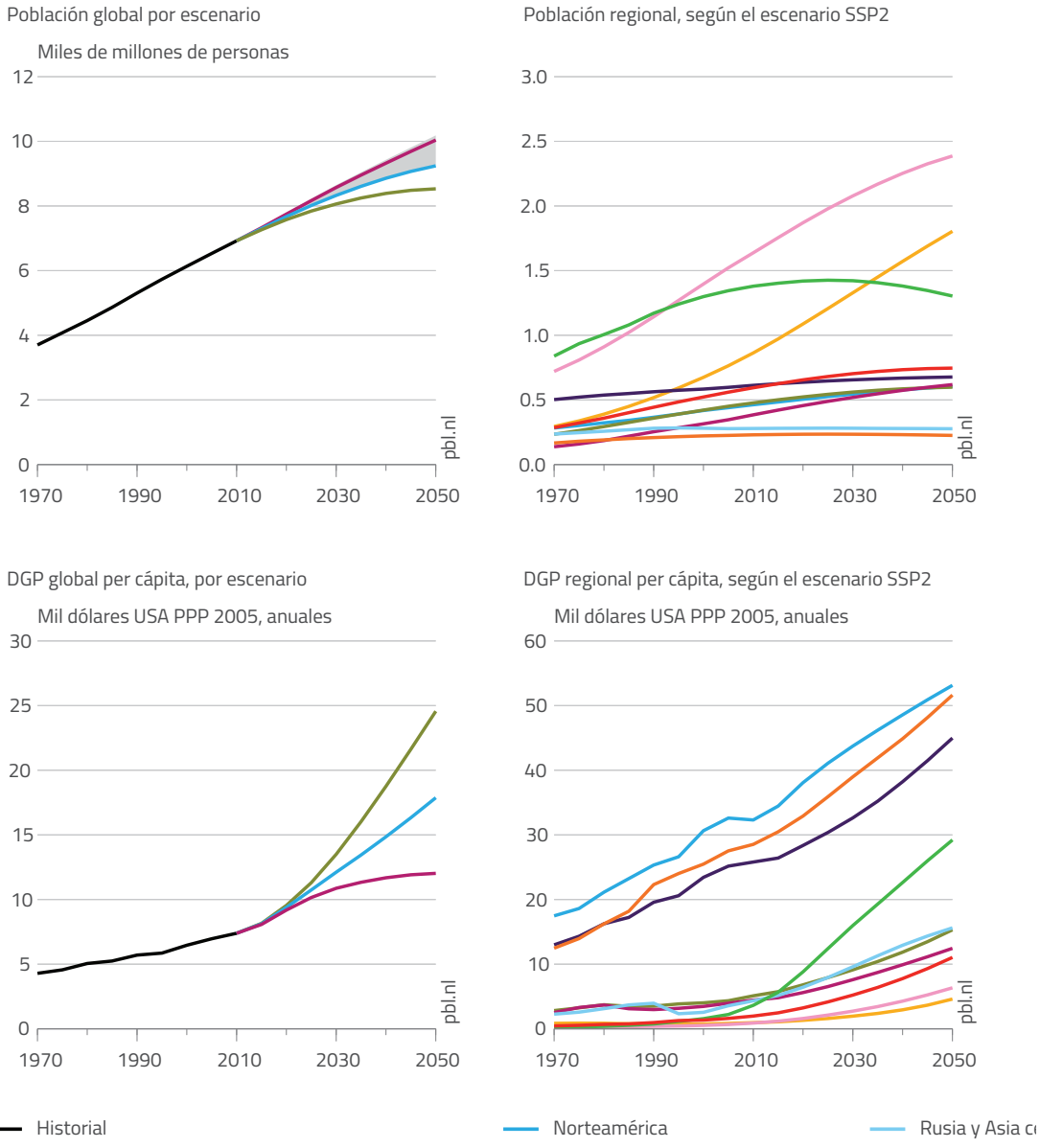
Aunque todos los escenarios son futuros potenciales, sus argumentos difieren ampliamente. Esto ayuda a explorar la gama potencial de desarrollos futuros para el uso, demanda y condición de la tierra. Estos rangos proporcionan a los organismos decisorios un ancho de banda suficiente donde pueden esperar que se produzcan cambios y surjan desafíos para materializarse. La tabla 6.1 presenta las principales diferencias en las hipótesis realizadas para cada uno de los tres argumentos del SSP. Estos escenarios se elaboran con el modelo IMAGE[5] mediante la aplicación de proyecciones cuantitativas para poblaciones,[6]urbanización[7] y desarrollo económico,[8] y con la cuantificación de los parámetros de modelo para reflejar los argumentos ya descritos. Los resultados de los escenarios abarcan el sistema energético, la producción de alimentos, el uso de la tierra, las emisiones de GEI, el cambio climático, la biodiversidad y los impactos en las propiedades del agua y del suelo. Al evaluar las tendencias de la biodiversidad, las propiedades del suelo y los sistemas hidrológicos, tanto el cambio del uso de la tierra como del cambio climático son impulsores importantes que se tienen en cuenta en el modelado. Sin embargo, los impactos del cambio climático no se incluyen para los patrones de uso de la tierra y el sistema agroeconómico debido a las grandes incertidumbres y el diseño experimental.[9] El cambio en las propiedades del suelo, la biodiversidad y los sistemas hidrológicos se elaboran con el modelo S–World,[10,11]el modelo GLOBIO[12] y el modelo PCR–GLOBWB [13,14] respectivamente.

Las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas describen tendencias alternativas y plausibles de la evolución de la sociedad y de los sistemas naturales a lo largo del siglo XXI a nivel del planeta y en las grandes regiones del mundo. Consisten en dos elementos: un argumento narrativo y un conjunto de medidas cuantificadas de desarrollo.

Figura 6.1: Factores socioeconómicos (PIB y población) cuantificados para los escenarios SSP (PPA se refiere a Paridad de Poder Adquisitivo).
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

- Historial
- Escenario SSP1
- Escenario SSP2
- Escenario SSP3
- Proyecciones de población de la ONU (95% del ámbito)
- Norteamérica
- América Central y del Sur
- Oriente Medio y Norte de África
- África subsahariana
- Europa occidental y central
- Rusia y Asia central
- Sur de Asia
- Región de China
- Sudeste asiático
- Japón y Oceanía



Crecimiento Demográfico y Económico

En los tres escenarios, los anteriores patrones de crecimiento demográfico continuarán hasta 2050, aunque a ritmos diferentes (Figura 6.1). Se asume que el crecimiento demográfico mundial empezará a estabilizarse en la SSP2. La población mundial alcanza unos 9.000 millones de personas en 2050, pero continúa creciendo a ritmo rápido en el África Subsahariana, donde dentro de 40 años la población se habrá duplicado; también se prevén altas tasas de crecimiento para África del Norte, Oriente Medio y Asia Meridional. Otras regiones muestran claros signos de estabilización o incluso disminución de la población. En SSP1, el crecimiento demográfico es más lento, alcanzando un máximo de 8.000 millones en 2050, sobre todo debido a las menores tasas de crecimiento en el África sub-sahariana y el Sur y Sudeste Asiático. En SSP3, el crecimiento demográfico mantiene el ritmo actual y supera los 10.000 millones en 2050, debido principalmente a mayores tasas de crecimiento en todas las regiones, pero especialmente en el África Subsahariana y el Sur y Sudeste Asiático.

En SSP2 el crecimiento económico sigue las tendencias históricas, mientras que en SSP1 se asume que será superior a dichas tendencias y en SSP3 que será inferior, especialmente en las regiones menos desarrolladas. Por lo tanto, en lo que respecta a la demanda de alimentos, en SSP3 las tendencias de la población y el crecimiento económico se compensan parcialmente entre sí, debido a una mayor población pero menos acomodada. En SSP1, a pesar de los mayores ingresos, la población más reducida y la atención prestada a las cuestiones ambientales mantienen la demanda de alimentos por debajo de los niveles de SSP2.

Figura 6.2: Tierras actuales en uso (línea discontinua), en 2050 ypotencial de tierras restantes y aptas para la agricultura en el escenario SSP2.
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

Superficie de tierra utilizada en 2050
- Cultivos
- Pastos

Potencial de tierras remanentes aptas para la agricultura
- Muy alto
- Alto
- Moderado
- Bajo

Superficie de la tierra utilizada en 2010

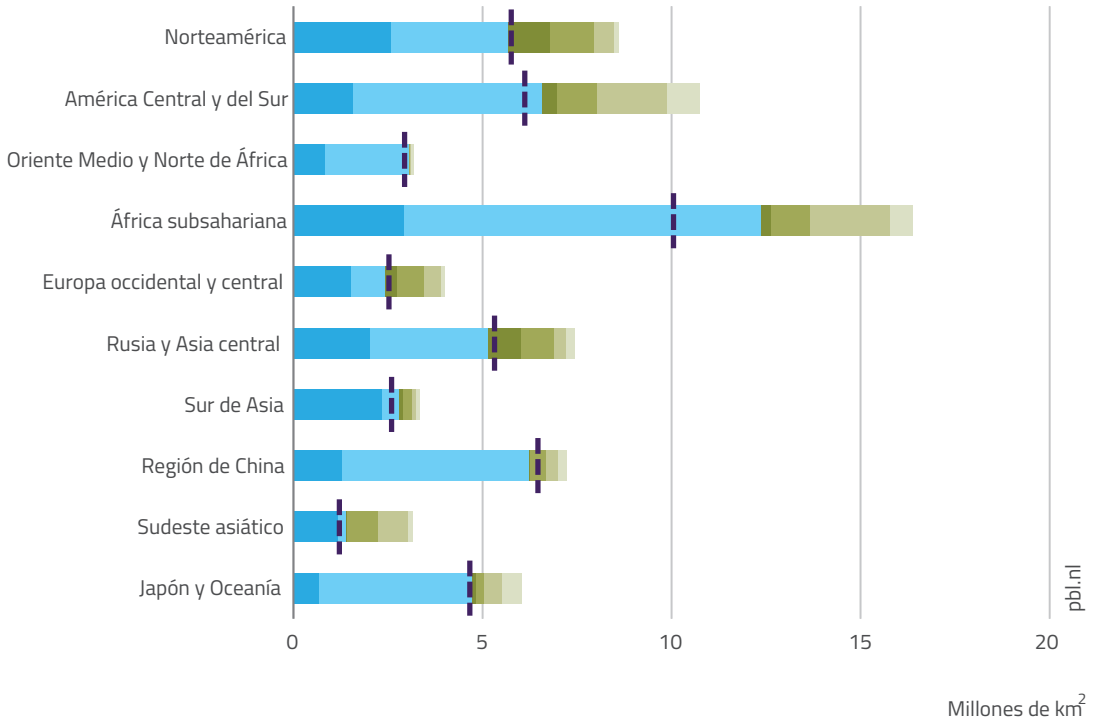
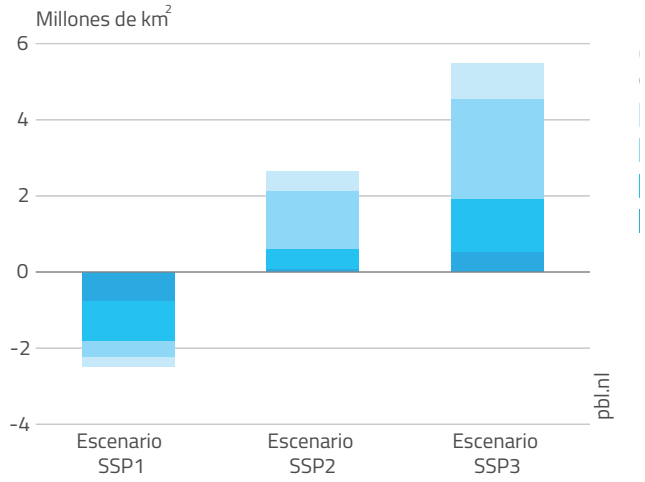


Figura 6.3: Potencial de productividad de la tierra en la nueva superficie agrícola convertida.
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

Tipo de productividad de cultivos de la tierra convertida
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy alta



Resultados del análisis de escenarios de la PBL

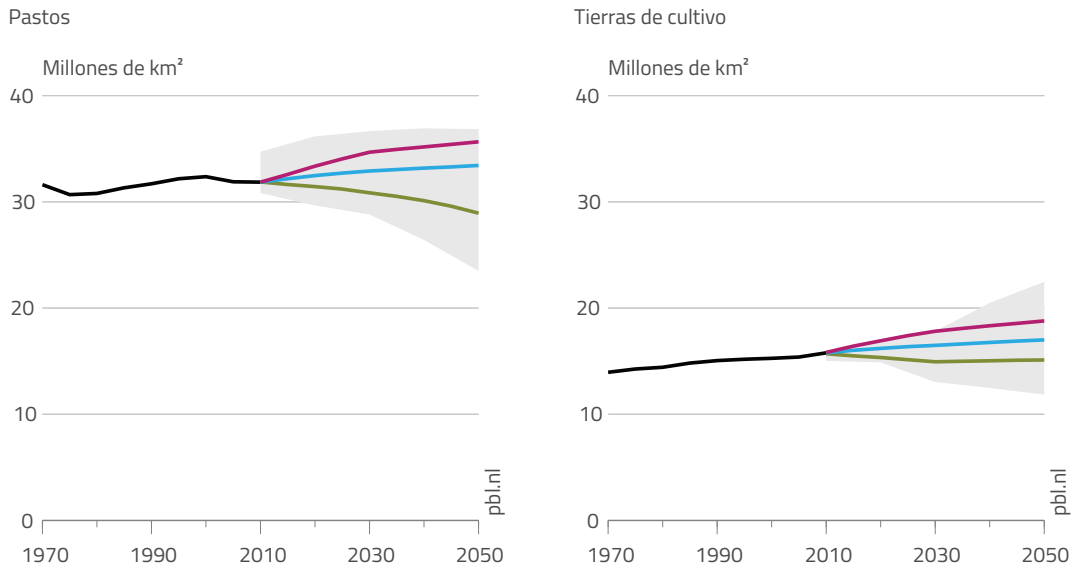
En los tres escenarios, la demanda de bienes y servicios basados en la tierra seguirá registrando un rápido crecimiento en las próximas décadas.[15] Se incluyen productos agrícolas (por ejemplo: alimentos y forrajes), fibras (por ejemplo: algodón y madera para construcción y papel) y combustibles (por ejemplo: leña, biomasa y biocombustibles líquidos). Además de la demanda de productos basados en la tierra, las ciudades, los pueblos y las infraestructuras se construyen en la tierra, y también se necesita tierra para la conservación de los bosques y otras áreas naturales por su biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la mitigación del cambio climático y adaptación al mismo.

En general, las conclusiones de los escenarios son sólidas ya que los vínculos generales entre alimentos, forraje y sus respectivos usos de la tierra se relacionan bien y se apoyan en una amplia base empírica. Las principales incertidumbres sobre la dinámica futura del uso de la tierra son el cambio en la demanda de productos agrícolas y las tendencias tanto de los rendimientos de los cultivos como de

Figura 6.4: Tendencias mundiales del uso de la tierra o los SSPs (líneas de color) y el rango en otros modelos[16] (área gris) para 2010–2050.
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

- Historia
- Escenario SSP1
- Escenario SSP2
- Escenario SSP3
- Rango del modelo IAM para los escenarios SSP1, SSP2 y SSP3



los sistemas de producción ganadera. En el escenario SSP2 Mitad del Camino, e incluso más en SSP3, todos los modelos globales indican que la tendencia centenaria de convertir las áreas forestales en tierras agrícolas continuará por lo menos hasta 2050. Las futuras demandas de uso de la tierra por parte de la agricultura no solo afectarán a los bosques sino también a las sabanas y los pastizales. Por ello, se prevé una pérdida continua de hábitat con los consecuentes impactos en la biodiversidad. Las siguientes secciones muestran los próximos capítulos de la Segunda Parte de la Perspectiva, que desarrollan con mayor detalle las evidencias y posibles cuestiones normativas futuras.

Agricultura

Quedan muy pocas tierras naturales aptas para la agricultura, por lo que la expansión cada vez ocupa más tierras marginales. Como gran parte de las tierras potencialmente disponibles para la agricultura ya están en uso, tanto para cultivos, ganado o áreas urbanas, la necesidad de contar con más tierras para fines agrícolas hace que la expansión se realice en áreas menos productivas (Figura 6.2). El uso de tierras menos productivas exige más área y/o insumos para lograr la misma producción. Por otra parte, las tierras marginales suelen ser más difíciles de gestionar y más proclives a la degradación: pueden estar en pendientes, tener suelos finos y menos fértiles, ser más difíciles de trabajar o verse perjudicadas por restricciones de agua o factores climáticos adversos. Así, además de sufrir condiciones menos favorables que en otros lugares, los agricultores tienen que invertir más trabajo e insumos. En varias regiones, es más probable que los pequeños productores sean desplazados a las zonas marginales y los grandes productores sigan controlando las tierras más fértiles.

Dos de los tres escenarios plantean un aumento del uso de tierras agrícolas: se prevé que aproximadamente el 50% (en SSP3) y el 80% (en SSP2) de ese incremento tenga lugar en tierras de baja o moderada productividad (Figura 6.3) . Por el contrario, en el escenario SSP1, el área agrícola neta global disminuirá debido a la combinación de un bajo crecimiento demográfico, un mayor interés por el consumo y la producción sostenibles (por ejemplo, niveles más bajos de consumo de carne y desperdicio de alimentos) y una mayor eficiencia de los sistemas de cultivo y ganadería. En Europa y Rusia, que comprenden una gran parte de las tierras más fértiles del mundo, incluso las tierras altamente productivas sufrirán un cambio en su uso o serán abandonadas. Desde el punto de vista de eficiencia global del uso de la tierra, un mayor comercio de productos de la tierra ayudaría a asignar la producción a las regiones según sus ventajas comparativas. Sin embargo, hay muchas otras preocupaciones, por ejemplo: la autosuficiencia alimentaria interna, el coste del transporte y las emisiones de CO_2 generadas por el transporte de larga distancia.

El escenario SSP2 supone que el cambio global en el uso de la tierra continuará con la expansión de las tierras de cultivo, de 15 millones de km² en 2010, a aproximadamente 0.9 millones de kilómetros²en 2030 y 1.2 millones de km² en 2050, aparte de 1.4 millones de kilómetros²adicionales para cultivos energéticos en 2050. Se prevé que la superficie de pastos (incluidos los pastizales para el ganado) aumente en aproximadamente 1.6 millones de km² para 2050 (Gráfico 6.4).

Figura 6.5: Cambio en el uso de la tierra y las áreas naturales, en el mundo (izquierda) y por regiones (derecha)
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

- Otras tierras naturales
- Bosques
- Pastos
- Cultivos energéticos
- Cultivos de alimentos y piensos
- Superficie construida
- Rango entre los escenarios SSP1 y SSP3

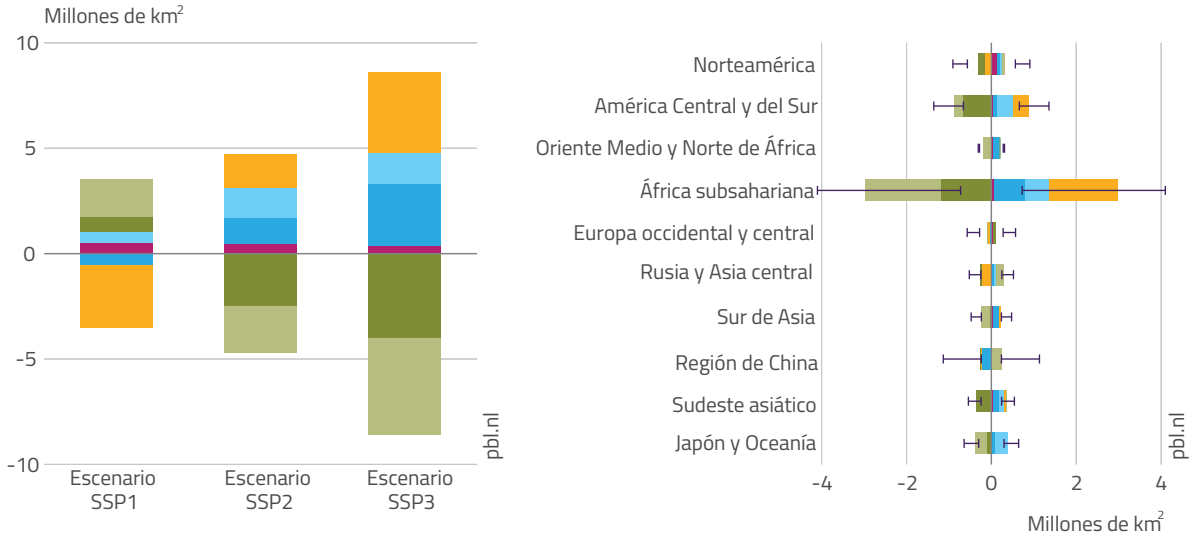


Figura 6.6: Cambio en el uso de la tierra en el período 2010–2050: el verde indica expansión de áreas naturales; el morado indica expansión de tierras agrícolas/áreas construidas.
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

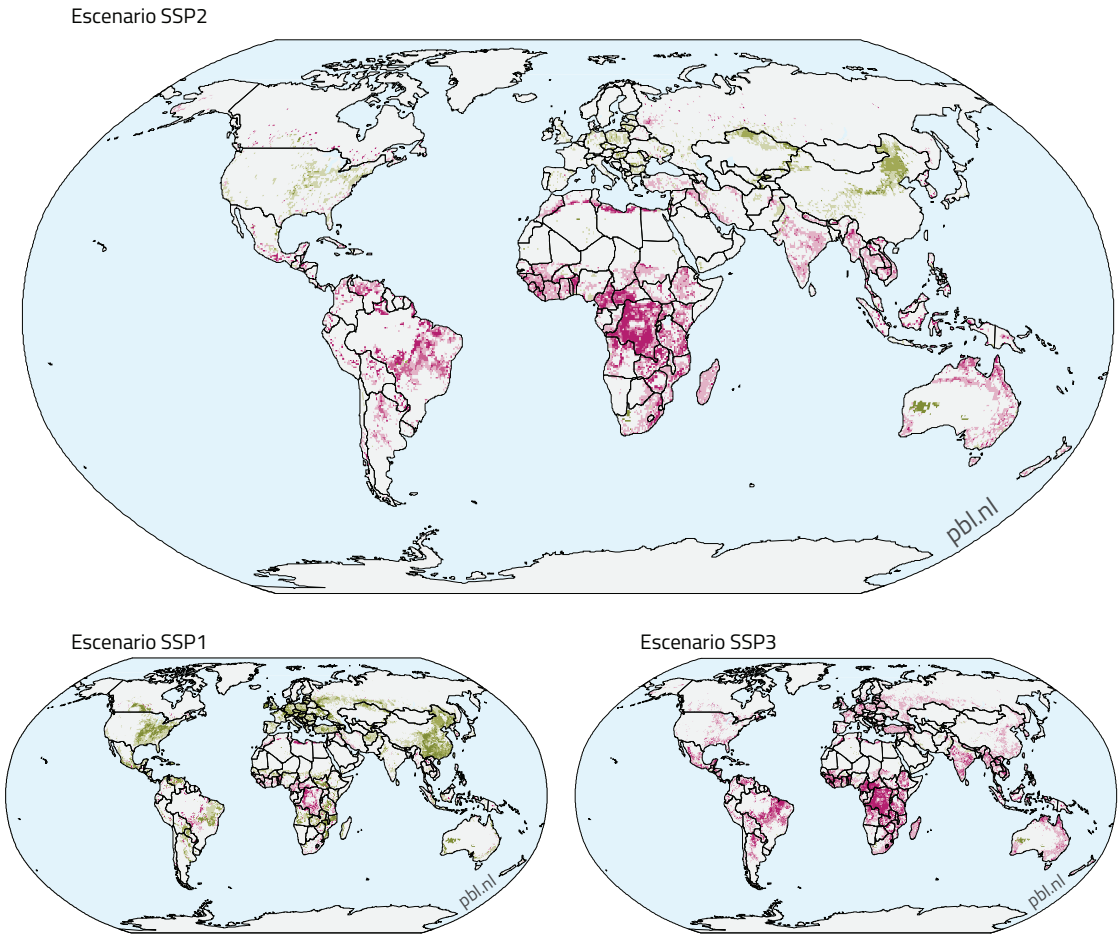
Deforestación y transformación de otras tierras naturales (cambio porcentual por celda)

5 30 50 100

Reforestación y abandono de la agricultura a otras tierras naturales (cambio porcentual por celda)

5 30 50 100

Sin cambio o con pequeño cambio (menos del 5%)



El escenario SSP3 muestra mayores expansiones para tierras de cultivo, bioenergía y pastos que SSP2, debido principalmente al lento desarrollo tecnológico. En el escenario SSP1 se propone un pérdida neta de la superficie agrícola en todo el mundo debido a pequeños aumentos demográficos, un consumo y una producción más sostenibles, y mayor eficiencia de los sistemas agrícolas y ganaderos, lo que requiere menos tierra. El África subsahariana presenta la mayor expansión de tierras agrícolas debido al alto crecimiento demográfico y la creciente demanda de alimentos y forrajes que la mayor eficiencia no logra cubrir por completo. También en la SSP1, a pesar de una disminución neta a nivel mundial, el uso de la tierra agrícola se expande en el África Subsahariana. En SSP3, la expansión es aproximadamente 40% más alta que en SSP2 debido a las lentas mejoras de los rendimientos de los cultivos y la eficiencia del sistema ganadero (Gráficos 6.5 y 6.6).

El aumento continuo de la demanda de alimentos, combustibles y fibras provoca el cambio en el uso de la tierra. La demanda mundial impulsa el aumento de la producción agrícola y maderera del 27 al 77% hasta 2050, según los distintos escenarios y dependiendo de las previsiones de población e ingresos. Se ajusta a la literatura de este ámbito.[17] En las regiones en desarrollo, el aumento de la producción es moderado ya que el crecimiento de la demanda se va estabilizando, aunque se prevén grandes incrementos, sobre todo en el África Subsahariana (más del 150%), en el Sur y Sudeste Asiático y en América Latina (más de 70%), lo que genera un cambio en el uso de la tierra agrícola. La producción en otras regiones y el comercio también satisfacen parte de la creciente demanda regional.

En el escenario SSP1, la demanda registra un aumento mucho menor, o incluso se mantiene constante, en la mayoría de las regiones. En SSP3, los cambios en la demanda de alimentos suelen ser similares a los observados en SSP2 tanto a nivel global como regional, ya que la mayor población y el menor crecimiento económico se compensan entre sí: SSP3 tiene más población, lo que implicaría una mayor demanda, pero también menos ingresos, lo que supondría una menor demanda en comparación con SSP2. En cuanto al impulso del cambio en el uso de la tierra, la intensidad agrícola (cultivos y ganado) compensa la diferencia entre estos dos escenarios. En todos los escenarios, la producción de madera se mantiene en niveles elevados en las regiones desarrolladas y muestra cierto aumento en América Latina, África y el Sudeste Asiático, a menudo, debido al aumento de plantaciones forestales.

Se prevé que el uso de fertilizantes con nitrógeno y fósforo aumente rápidamente en los países donde ahora es bajo, lo que mejoraría la eficiencia del uso de la tierra pero podría acarrear efectos ambientales adversos. Gran parte de la actual producción agrícola orientada al mercado ha pasado a depender de los fertilizantes artificiales, con ya que los nutrientes naturales del suelo que no son capaces de mantener los niveles actuales de rendimiento en muchos lugares. En el escenario SSP2, el rápido crecimiento de la producción de alimentos conducirá a un aumento del uso de fertilizantes con nitrógeno y fósforo, especialmente en las regiones donde el actual uso de fertilizantes es bajo. Las anteriores hipótesis de escenarios comparables estiman un aumento del 36% en el uso global de fertilizantes nitrogenados y del 44% en el uso de fertilizantes con fósforo entre 2005 y 2050, aunque el uso de este segundo grupo de fertilizantes se cuadriplica en el África Subsahariana.[18]

Todos los escenarios SSP presentan una significativa expansión de la agricultura en suelos tropicales que son vulnerables a la erosión. Los suelos en los bosques tropicales suelen ser pobres y estar erosionados, con una larga historia de abundantes precipitaciones y altas temperaturas que han eliminado la mayoría de los nutrientes. La alta productividad de la vegetación natural se mantiene por medio de un ciclo casi cerrado en el que la mayoría de los nutrientes se encuentran en la biomasa y en la capa de materia muerta y en descomposición del suelo forestal. La mayor expansión de tierras de cultivo se proyecta en la cuenca del Congo debido al gran aumento de la demanda en el África Subsahariana, incluso bajo la hipótesis relativamente optimista del escenario SSP2 de que la productividad agrícola en esta región aumente alrededor del 200%. Sin unos sistemas sostenidos y efectivos de gestión de suelos, el desmonte de estas tierras para su uso agrícola podría conllevar una rápida pérdida de producción agrícola debido a la falta de nutrientes y la exposición a la erosión hídrica.

En general, la pérdida continua de productividad en determinadas zonas puede implicar una mayor expansión de las tierras de cultivo a modo de compensación para 2050. Al tomar las tendencias negativas locales de la productividad primaria neta como un indicador de la pérdida de productividad en las tierras de cultivo, se puede establecer una primera estimación de las tierras de cultivo adicionales que se necesitan para compensar dicha pérdida. Según este escenario SSP2 de pérdida de productividad, el resultado sería un área de cultivo un 5% más grande para 2050, además de la expansión del 8% del escenario SSP2 basado solamente en el crecimiento de la demanda de alimentos. Con estas hipótesis, las regiones que muestran una mayor expansión son África del Norte, el Oriente Medio, Rusia y Asia Central, África Subsahariana, Japón y Oceanía.

Recursos Hídricos

La futura seguridad hídrica se enfrenta a una multitud de riesgos provocados por la escasez de agua. Estos riesgos están relacionados con el fuerte aumento de la demanda de agua, la incertidumbre sobre el agotamiento de las aguas freáticas no renovables, la menor calidad del agua y los cambios en los patrones de precipitaciones, así como los cambios en la profundidad, textura y carbono orgánico en el suelo. La disminución de la condición del suelo conlleva una reducción de la capacidad de los suelos para retener el agua. La capacidad de retención de agua es especialmente relevante para la producción agrícola de secano, donde, las precipitaciones pueden ser irregulares y la función reguladora de los suelos de almacenar agua ayuda a las plantas a sobrevivir temporadas de sequía más largas. Los bajos rendimientos en los sistemas de tierras secas suelen atribuirse a la excesiva evaporación de agua de la superficie del suelo, donde las cantidades más altas de acolchado orgánico pueden mejorar –aunque no en todos los casos– la infiltración y el almacenamiento de agua y, por lo tanto, aumentar la productividad.[19] Cuando es posible almacenar más agua en el suelo (por ejemplo, gracias al acolchado), la liberación aplazada de humedad a los sistemas de aguas freáticas puede suavizar la descarga fluvial.

En el escenario SSP2, la demanda total de agua en el mundo pasa de 2.056 km^3 a 2.445 km^3. El Sudeste Asiático y el África Subsahariana muestran el mayor aumento de la demanda de agua, debido en gran parte a la demanda de la industria y los hogares. La escasez de agua hace referencia a su limitada disponibilidad teniendo en cuenta la demanda total de los diferentes usuarios. La escasez de agua, ahora y en el futuro, está muy extendida en regiones densamente pobladas tales como India, Asia, el oeste de los Estados Unidos y España (Figura 6.7). Estas regiones consisten en grandes áreas áridas y semiáridas. La Figura 6.7 también muestra las regiones que experimentarán un aumento de la escasez de agua. La escasez de agua puede frenar el crecimiento económico, por ejemplo, en la costa este central de África, las Grandes Llanuras de los Estados Unidos, alrededor del Mar Mediterráneo y en algunas partes de la cuenca del Yangtsé.

Hasta qué punto la escasez local de agua pueda ser problemática también depende del almacenamiento local, el bombeo de aguas freáticas o las medidas aguas arriba para prevenir la escasez de aguas abajo. Los escenarios aquí explorados solo bosquejan los riesgos y no incluyen esas posibles medidas de mitigación y adaptación.

En el escenario SSP2, muchas cuencas hidrográficas con niveles más altos de precipitaciones a consecuencia de los cambios climáticos muestran unos aumentos de la escorrentía superiores a los esperados cuando solo se tiene en cuenta el aumento de las precipitaciones; el cambio de la cobertura terrestre parece reducir la capacidad de los ecosistemas para regularizar los caudales de agua, lo que da lugar a una de escorrentía más alta.

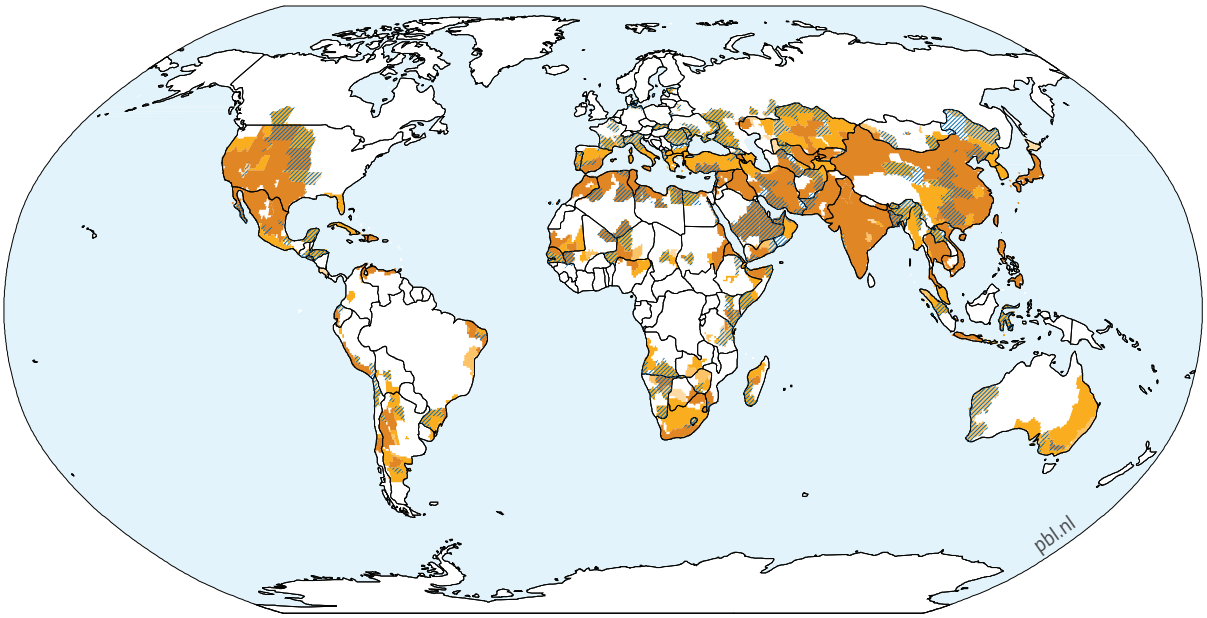


Figura 6.7: Proyecciones mundiales de escasez dinámica de agua, entre 2010 y 2050, en el escenario SSP2: el mapa dinámico del índice de escasez de agua se basa en una escala de tiempo mensual y explica la frecuencia y la continuidad de las condiciones de escasez de agua en un año. *Fuente: UU*

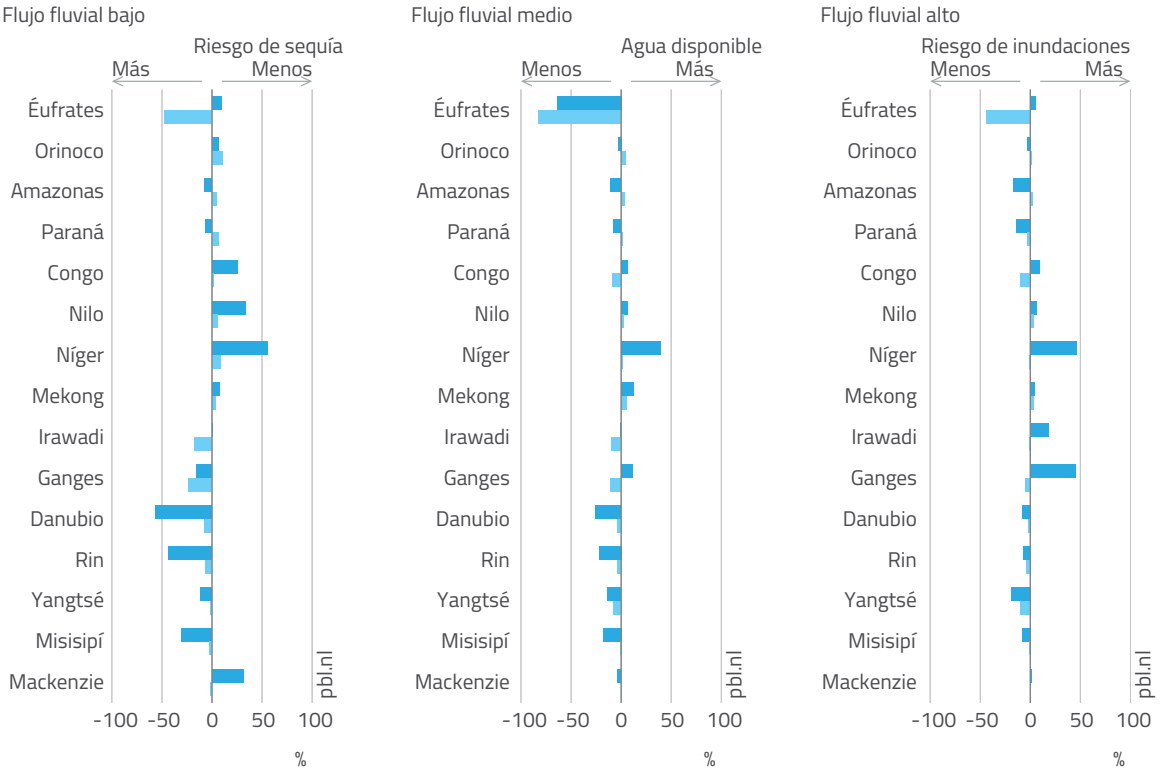
Clave

- Bajo (0,1 – 0,2)
- Moderado (0,2 – 0,4)
- Alto (0,4 – 0,8)
- Muy alto (0,8 o más)
- Sin estrés hídrico (menos de 0,1%)
- Aumento previsto del estrés hídrico, en comparación con 2010

Figura 6.8: Cambios en los índices de caudal medio, alto y bajo para las principales cuencas hidrográficas entre 2010 y 2050 en el escenario SSP2 y SSP2 sin cambio climático. Cabe señalar que no se tiene en cuenta el cambio en las propiedades del suelo, como en el escenario SSP2 de pérdida de productividad, y SSP2 sin cambio climático (por lo que únicamente se muestra el efecto del cambio de uso de la tierra).
Fuente: UU; PBL

Clave

- Escenario SSP 2
- Escenario SSP 2 sin cambio climático



Los efectos se agravan en las regiones de tierras secas, donde una pequeña intensificación del uso de la tierra puede causar un cambio significativo en la escorrentía para muchas cuencas pequeñas.

El cambio climático y el cambio en la cobertura de la tierra provocan cambios en la escorrentía, con el consiguiente impacto en los volúmenes de los caudales fluviales. Según el caudal medio, las cuencas hidrográficas pueden estar más o menos húmedas o secas. Sin embargo, como los caudales fluviales generalmente suelen presentar una alta variabilidad natural, los volúmenes de caudales altos y bajos aportan más información sobre los peligros de inundación y sequía que los caudales medios de descarga. La Figura 6.8 muestra el cambio relativo de los caudales bajos, medios y altos en el escenario SSP2, con y sin cambio climático, para algunas de las cuencas hidrográficas más grandes del mundo. Diferentes variantes pueden intensificarse o regularse mutuamente y el alcance varía según la cuenca hidrográfica, dependiendo de la situación local. Un cambio negativo en un caudal bajo implica que su volumen se reducirá, lo que indica que la cuenca hidrográfica será más vulnerable a la sequía hidrológica. Ocurre lo contrario en el caso de caudales altos.

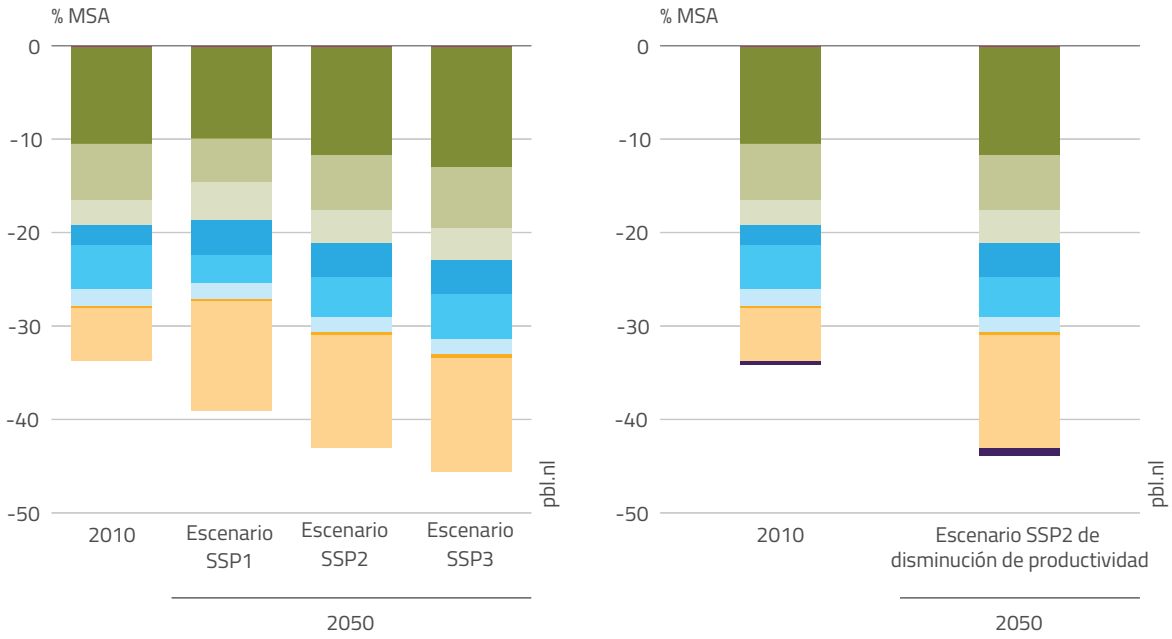
Biodiversidad

Se prevé que la pérdida de biodiversidad, medida por la Abundancia Media de Especies (MSA, por sus siglas en inglés), pase del 34% en 2010 al 38, 43 y 46% en los escenarios SSP1, 2 y 3, respectivamente (Figura 6.9). En SSP1, la tasa de pérdida se ralentiza al detenerse la expansión de las tierras de cultivo, aunque esto conduce a un mayor impacto de la silvicultura. Se trata de un ejemplo típico de compensaciones entre diferentes desarrollos de los sectores. Por ejemplo, el área forestal tiene que expandirse más que en SSP2 y SSP3 para compensar la ausencia de producción maderera debido al desmonte de bosques para expandir tierras de cultivo. SSP2 y SSP3 muestran las mayores pérdidas de biodiversidad como un efecto acumulativo del aumento de las tierras de cultivo, incluidos los cultivos bioenergéticos, las infraestructuras, el establecimiento de asentamientos humanos, la silvicultura y el cambio climático. Estos escenarios continuarán o incluso acelerarán el índice de pérdida registrado en el siglo XX. En todos los escenarios, la pérdida de biodiversidad continúa mucho más allá de 2050, mientras que los efectos del cambio climático se aceleran en todos los escenarios.

Gráfico 6.9: Pérdida global de biodiversidad relativa a la situación natural en 2010 y 2050 en los escenarios SSP1, SSP2 y SSP3 (izquierda), y para 2010 y 2050 en el escenario SSP2 de pérdida de productividad (derecha).
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

- Urbanización
- Cultivos
- Biocombustibles
- Pastos
- Silvicultura
- Infraestructuras
- Invasión
- Fragmentación
- Deposición de nitrógeno
- Cambio climático
- Disminución de la productividad



El escenario SSP2 de pérdida de productividad muestra una pérdida adicional de biodiversidad de alrededor del 1% en 2050 (Figura 6.9). La mayor parte hace referencia a la pérdida de productividad en las tierras de cultivo, lo que conduce a una mayor expansión de las tierras de cultivo para compensar la pérdida. Una parte más pequeña hace referencia al uso anterior de la tierra, ahora abandonado, y al uso informal y extenso de la tierra, como pastoreo extensivo, forraje y recolección de madera. Aunque un punto porcentual parezca relativamente pequeño, en términos absolutos es una cantidad considerable. A modo de referencia: un 1 por ciento de pérdida de MSA equivale a una pérdida completa de biodiversidad en un área virgen 2,4 veces el tamaño de Francia continental.

Suelo, Vegetación y Carbono

El total de pérdidas antropogénicas históricas de carbono orgánico del suelo (COS), principalmente de la conversión de ecosistemas naturales en agricultura, ha generado una pérdida estimada de 176 Gt de COS, equivalente al 8 por ciento de las reservas totales de alrededor de 2,200 Gt de COS disponibles en condiciones naturales.[19,20] Lo que coincide con las estimaciones de la literatura.[21,22,23] Se estima que gran parte de estas pérdidas han tenido lugar en Europa, el subcontinente Indio, el Sahel, el sureste de Sudamérica y grandes áreas de China (Figura 6.10, centro).

En el escenario SSP2 de disminución de la productividad, las emisiones acumuladas procedentes de COS se estiman en alrededor de 27 gigatoneladas de carbono (Gt C) para el periodo 2010–2050 (Figura 6.11). De éstas, 16 Gt C provienen de la futura conversión de tierras naturales en tierras agrícolas y 11 Gt C de la pérdida continua de cobertura y productividad de la tierra, aparte de la conversión de la tierra. Se prevé que la mayor parte de estas pérdidas futuras tengan lugar en las regiones del hemisferio sur, especialmente el África Subsahariana (Figura 6.10, abajo). Cuando se convierten en tierras de cultivo, los suelos de productividad media y baja, a menudo con bajo contenido de carbono, pueden perder una parte relativamente alta de su (ya pequeña) reserva total de carbono en un corto período de tiempo.

Se estima que el drenaje continuo de los suelos de turba y los subsiguientes incendios de turba aportarán de forma acumulativa unas emisiones de 9 Gt C (± 2) entre 2010 y 2050. Esta cantidad se basa en proyecciones de las emisiones en el Sudeste Asiático[24] y la extrapolación de las emisiones actuales de Europa, incluida la Rusia europea.[25] Para el año 2050, se estima que las emisiones acumuladas de carbono causadas por la pérdida de vegetación sean alrededor de 45 Gt C; se trata de una pérdida de biomasa provocada por la expansión agrícola, la degradación de los bosques y el manejo forestal (Figura 6.11). Este es el saldo neto de la forestacion, en particular, la forestación en las regiones del norte y la continua deforestación en las regiones del sur.[26]

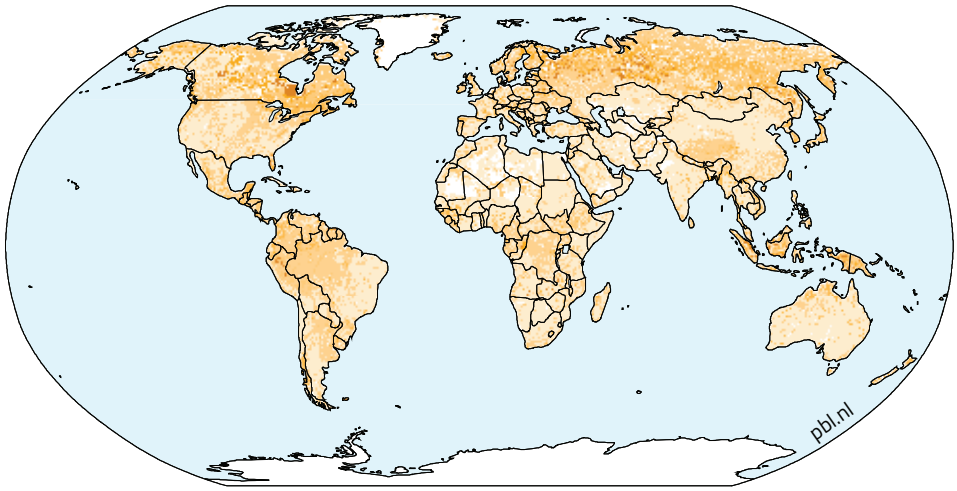
Las mencionadas emisiones antropogénicas relacionadas con la tierra suman alrededor de 80 Gt C para 2050, lo que equivale a unos ocho años de emisiones anuales de carbono procedentes de combustibles fósiles, estimadas en 9,9 Gt C / año[27] (Figura 6.11). Estas estimaciones no incluyen las consecuencias del cambio climático (temperatura y precipitación) en las reservas de COS ni los impactos de la fertilización con CO2 sobre las reservas de carbono en la vegetación.

Figura 6.10: Contenido de COS actual (arriba); Pérdida histórica de COS como porcentaje de COS en un estado natural (centro); Pérdida futura de COS como porcentaje del estado actual en el escenario SSP2 de pérdida de productividad (abajo).
Fuente: Stoorvogel et al. 2017; Schut et al. 2015; PBL

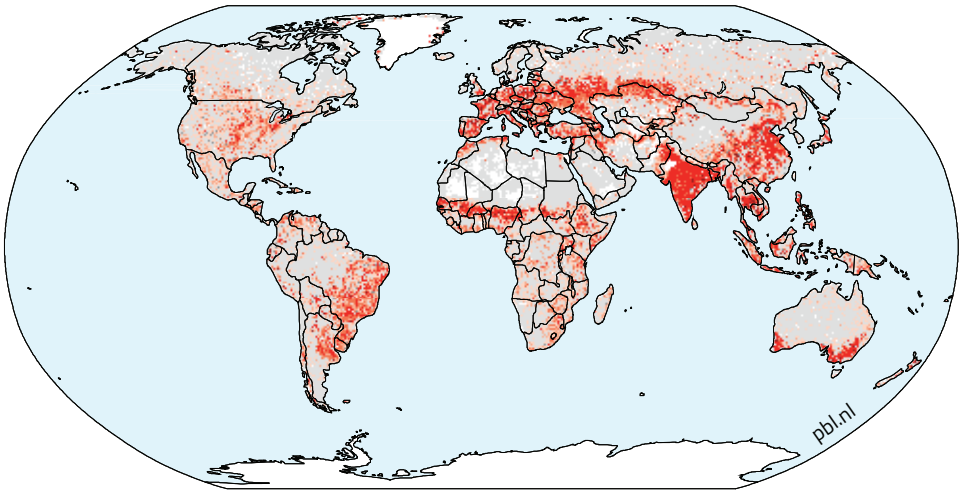
Clave

- Bajo (1,5% o menos)
- Moderado (1,5 – 3,0%)
- Alto (3,0 – 5,0%)
- Humus (5,0 – 12,0%)
- Organo–mineral (12,0 – 35%)
- Orgánica (más de 35%)

2010

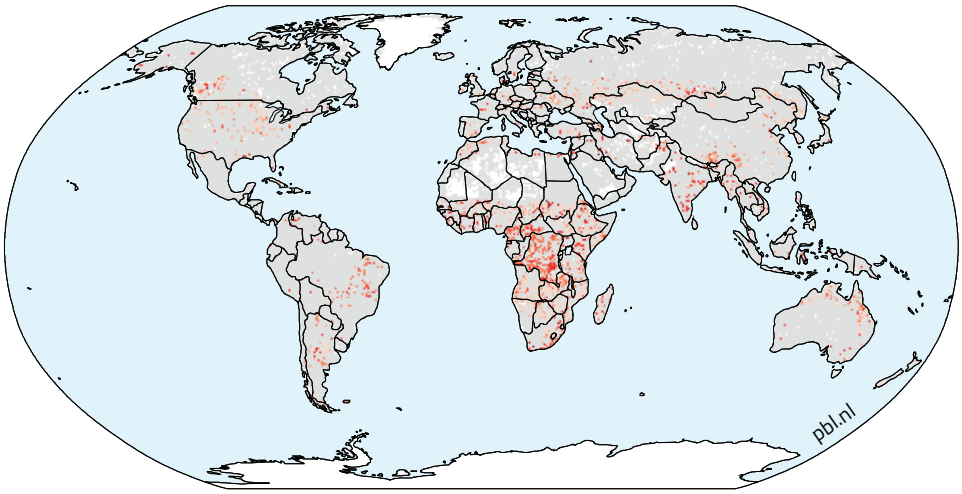


Cambio en comparación con la situación natural, 2010



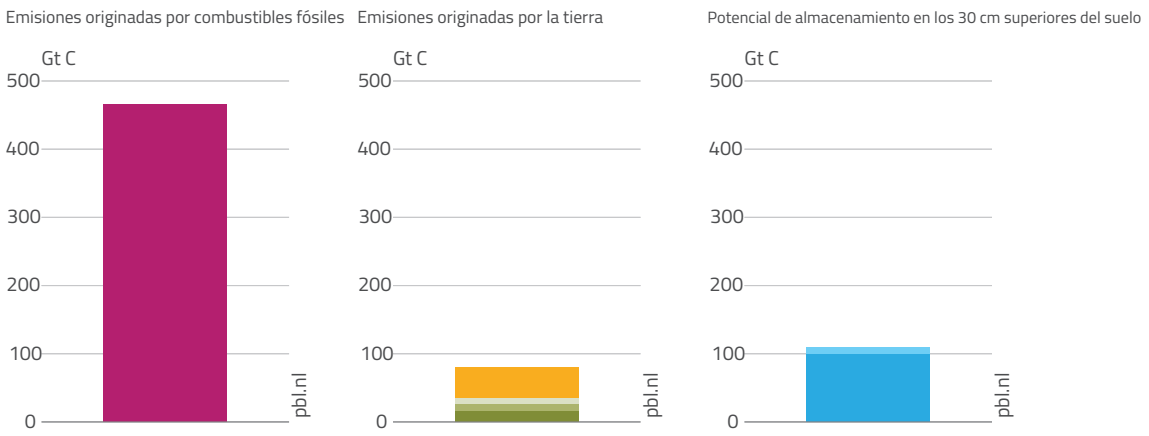
- 50 y más
- 30 – 50
- 20 – 30
- 10 – 20
- 2 – 10
- 2% de pérdida – 2% de crecimiento
- Más de 2% de crecimiento

Cambio según el escenario SSP2 de disminución de la productividad



- Sin datos

Figura 6.11: Emisiones acumuladas de carbono procedentes de combustibles fósiles del sector energético e industrial (izquierda); Emisiones acumuladas relacionadas con la tierra procedentes de la vegetación (cambio de uso de la tierra) y los suelos (centro); Potencial de almacenamiento de carbono en el suelo superficial (<30 cm) de tierras naturales y agrícolas (derecha).
Fuente: PBL



Clave

- Vegetación
- total

Carbono orgánico del suelo

- Turbera (drenaje, quema)
- Pérdida de productividad
- Cambio en el usode la tierra
- Área natural
- Área agrícola

Dado que la mayor parte de la pérdida histórica de COS procede de los 30 cm de suelo más superficiales de las tierras agrícolas, el mayor potencial de recuperación se encuentra en las tierras agrícolas actuales. Se trata de un potencial global considerable, pero exige el desarrollo de unos sistemas agrícolas que combinen altos rendimientos con niveles de COS casi naturales (Figura 6.11).

Las futuras emisiones de carbono relacionadas con la tierra son relativamente pequeñas en comparación con las emisiones procedentes de los combustibles fósiles (Figura 6.11). Aun así, desde el punto de vista de mitigación del cambio climático, sería importante reducir las futuras emisiones relacionadas con la tierra y utilizar el potencial de captura de carbono en las tierras agrícolas. Los escenarios con una probabilidad verosímil de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 1,5 ° C – 2 ° C deben limitar las futuras emisiones acumuladas de CO_2 a 170–320 Gt C.[28,29,30]

Cambio Climático

Es probable que el impacto del cambio climático en la agricultura reduzca los rendimientos y la disponibilidad de tierras agrícolas adecuadas en algunas regiones, y que aumente los rendimientos en otras con niveles moderados de calentamiento. Lo que probablemente dé lugar a modificaciones de los modelos comerciales y a la expansión de las áreas agrícolas, aunque el margen de incertidumbre de los efectos del cambio climático en el uso de la tierra agrícola es muy amplio.[31] El impacto varía mucho entre las regiones: si bien es probable que algunas regiones templadas se beneficien de una temperatura más alta y períodos de crecimiento más largos, se prevé que regiones como el África Subsahariana y la India experimenten un descenso de los rendimientos debido a una mayor restricción de agua y –lo que es más importante– temperaturas más elevadas.[32]

Las tierras secas son especialmente vulnerables. La figura 6.12 muestra un mapa global de la aridez actual y el cambio futuro en el escenario SSP2. Una mayor productividad generada por la fertilización con CO_2 puede compensar algunos de los efectos adversos, pero aún no está claro hasta qué punto es `posible poner en práctica estos beneficios. A nivel mundial, los rendimientos de las tierras de cultivo existentes podrían disminuir en un 10–15 por ciento, mientras que la superficie apta como tierra de cultivo podría aumentar aproximadamente un 10 por ciento, en particular en el hemisferio norte. Esto daría como resultado una ligera pérdida porcentual de producción global para el año 2050 en comparación con una situación sin cambio climático, aunque el panorama es significativamente más diverso a escala regional y moderado en todo el comercio.

Además de afectar a la capacidad de la tierra para producir alimentos, el cambio climático también afectará a la disponibilidad de agua y, por lo tanto, puede generar efectos más amplios como conflictos, especialmente en tierras secas donde se prevé un fuerte aumento demográfico y la escasez de agua es ya una cuestión polémica.[33,34,35,36] Por útimo, el calentamiento también puede acelerar la descomposición de la materia orgánica del suelo, por lo que la condición de la tierra en regiones ya de por sí cálidas estará bajo mayor presión y las emisiones de carbono[37] así como la migración de plagas y enfermedades subirán aún más.

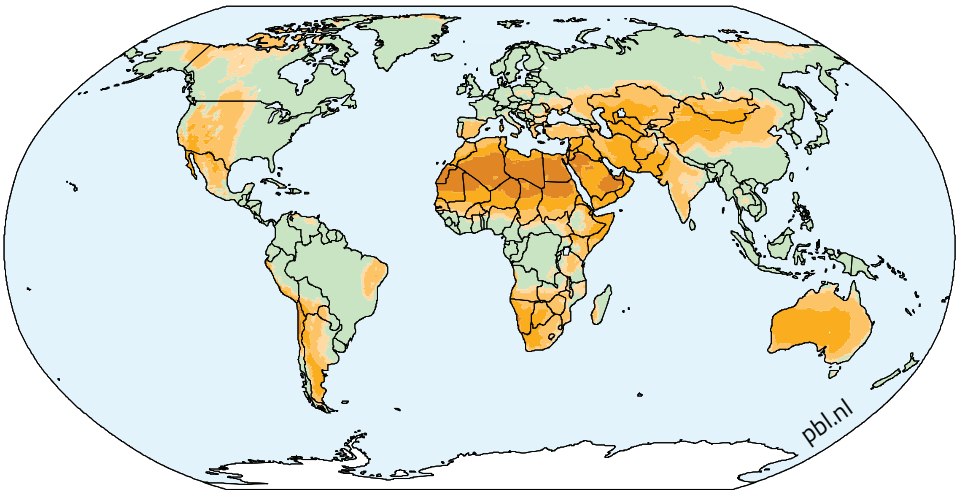
Gráfico 6.12: Índice de aridez en 2010 y cambio en el escenario SSP2
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

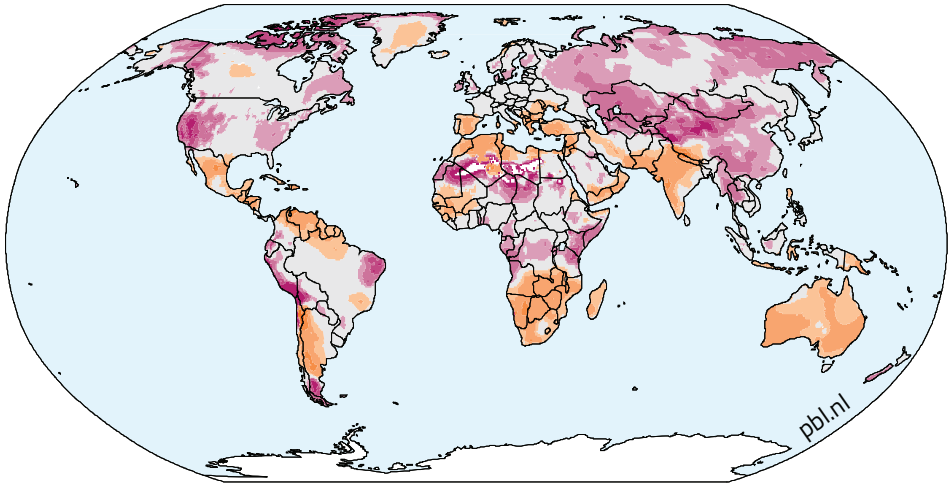
Índice de aridez

- Hiperárido< 0,03)
- Árido (0,03 – 0,2)
- Semiárido (0,2 – 0,5)
- Seco–subhúmedo (0,5 – 0,65)
- Húmedo> 0,65)

Índice de aridez, 2010



Cambios en la aridez según el escenario SSP2, 2010 - 2050



- Más árido
- Sin cambios
- Más húmedo

Urbanización

La expansión de las infraestructuras y las áreas urbanas, aunque pequeñas en comparación con la conversión de la tierra para fines agrícolas, desplaza cada vez más las tierras agrícolas fértiles. El mundo cada vez está más urbanizado, lo que afecta directa e indirectamente al uso de la tierra. Tradicionalmente, los asentamientos humanos se han desarrollado en las zonas más fértiles y en tierras accesibles. Su crecimiento está empezando a desplazar significativamente las tierras agrícolas fértiles. En una región de China, más del 70 por ciento del aumento de la superficie urbana tuvo lugar en tierras que antes se cultivaban.[38]

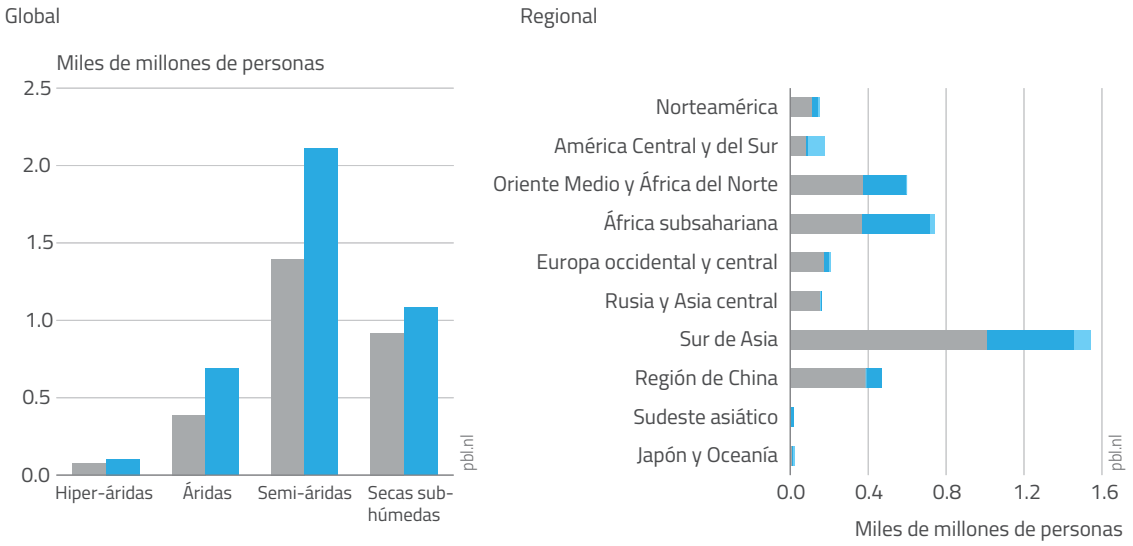
La expansión urbana se desarrolla principalmente en las zonas periurbanas, va fragmentándose lentamente y ocupando paisajes agrícolas y naturales. A menudo, la agricultura se desplaza a otros lugares, a veces menos productivos. Las poblaciones urbanas cada vez tienen menos contacto con las zonas rurales y con las formas de producir alimentos y otros productos obtenidos de la tierra. En el escenario SSP2 se prevé que la extensión de la superficie construida aumente en 0,4 millones de km^2. Gran parte de ese aumento tiene lugar en áreas agrícolas muy productivas (véase el capítulo 11), lo que provoca el desplazamiento de la agricultura a regiones menos productivas donde se necesita más superficie para obtener la misma producción. En general, esta conclusión encaja con lo que afirman otros trabajos, aunque algunos prevén la mayor expansión de la superficie urbana en otras regiones, como China.[39]

Figura 6.13: Población en tierras secas por categoría de tierra seca (izquierda) y por región (derecha) en 2010 y 2050 según el escenario SSP2.
Fuente: PBL / IMAGE

Clave

Mundial
- 2010
- 2050

Regional
- Población en 2010
- Crecimiento demográfico en las tierras secas existentes, 2010-2050
- Población en tierras secas nuevas 2050



Tierras secas

El escenario SSP2 prevé que la población de las tierras secas crezca en un 43% para 2050, un aumento muy superior a la tasa de crecimiento demográfico mundial, que se sitúa en torno al 33%. En general, se prevé que la población de las tierras secas pase de 2.700 millones en 2010 a 4.000 millones en 2050 (Figura 6.13).

En las tierras secas, el agua suele ser el factor limitante del crecimiento de las plantas. Con el crecimiento demográfico del escenario SSP2, la escasez de agua se convertirá en una cuestión aún más acuciante en muchas de estas regiones. Se prevé que los mayores crecimientos demográficos tengan lugar en tierras secas áridas y semiáridas. Por regiones, se prevé que Asia Meridional experimente el mayor aumento de personas que viven en tierras secas (más de 500 millones) y que el África Subsahariana duplique el número de habitantes de tierras secas. Aunque menor en términos absolutos, también se espera una duplicación en América Central y del Sur. Mientras que en el África subsahariana el aumento se deba principalmente al crecimiento demográfico, en América Central y del Sur la causa principal será la expansión de las tierras secas como consecuencia de los cambios climáticos. Por lo tanto, aunque muchas regiones se vuelvan algo más secas y otras más húmedas, los problemas generales en las tierras secas se agravarán más por el aumento de la demanda de poblaciones más grandes que por el cambio climático. Aun así, en el futuro los efectos del cambio climático, cuya consecuencia sera un clima cada vez más impredecible, especialmente las sequías, afectarán en el futuro a muchas más personas en las tierras secas.

Perspectivas regionales

El análisis de los cambios en el uso de la tierra y las funciones de los ecosistemas desde una perspectiva regional indica que el África Subsahariana, Asia Meridional, Oriente Medio y África del Norte se enfrentarán a los mayores desafíos. Estas regiones se caracterizan por una combinación de los siguientes factores: altos niveles de crecimiento demográfico (especialmente en las tierras secas), bajo PIB per cápita, altos niveles de malnutrición, intensificación del estrés hídrico, ingesta limitada de proteínas, menores tasas de autosuficiencia, expansión en el área agrícola, rápido descenso del suelo potencialmente disponible como tierra de cultivo, caída continua de los rendimientos de los cultivos, pérdida continuada de la productividad y elevadas pérdidas de biodiversidad. Al mismo tiempo, actualmente los medios económicos e institucionales con los que se cuenta para hacer frente a estos cambios son limitados y, aunque puede que el desarrollo mejore esta situación en el futuro, por el momento puede conducir a unos problemas incontrolables y al riesgo de conflictos y migraciones masivas, dentro y fuera de la región.

El Sudeste Asiático se enfrenta a cuestiones similares, pero en menor intensidad. Se caracteriza por un aumento relativamente fuerte de la demanda de agua, baja autosuficiencia, expansión agrícola continua, mayor descenso del suelo potencialmente disponible como tierra de cultivo y grandes pérdidas de biodiversidad. En comparación, las demás regiones presentan un número menor, aunque aún numeroso, de problemas. Además, cuentan con más medios económicos e institucionales para hacer frente a estos cambios.

© Mehmet Özdemir

CONCLUSIÓN

Este análisis de escenarios señala que en las próximas décadas muchas regiones experimentarán cambios significativos en el uso, demanda y condición de la tierra, principalmente debido a la combinación del aumento de la población y la riqueza (con el consiguiente incremento de la demanda de alimentos), un mayor número de alimentos de origen animal o un uso intensivo de la tierra, el incremento de la demanda de fibras y energía, la urbanización, la aceleración del cambio climático y la pérdida continua de cobertura de la tierra, productividad y carbono orgánico del suelo.

Estos factores se observarán en los caudales fluviales altos y bajos, la escasez de agua, la aridez, los rendimientos de los cultivos, la expansión de las tierras agrícolas, la tierra como fuente y sumidero de carbono y la biodiversidad. El África Subsahariana, Oriente Medio, Norte de África, Asia Meridional y, en menor medida, el Sudeste Asiático se enfrentan a una alarmante combinación de cuestiones ambientales y socioeconómicas que en el futuro intensificarán las presiones sobre los bienes y servicios de la tierra. En consecuencia, los efectos multidimensionales para la seguridad humana (véase el capítulo 5) pueden conducir a problemas y riesgos incontrolables.

Las vías de respuesta (véase la tercera parte) deben ayudar a aliviar las presiones sobre la tierra y lograr un equilibrio más equitativo entre las compensaciones socioeconómicas. Es la suma total de nuestras decisiones individuales –como jefes de hogar consumidores, productores, empresarios y responsables políticos– lo que está generando un fracaso global a la hora de lograr una seguridad alimentaria, hídrica y energética para todos que vaya acompañada de una mitigación del cambio climático y un freno a la pérdida de biodiversidad. Al igual que ocurre con nuestra respuesta al cambio climático, seguir con las prácticas y actitudes de siempre no basta para hacer frente a la magnitud de este desafío. Se necesitan respuestas que aborden el crecimiento demográfico, los niveles de consumo, las dietas, las brechas de rendimiento de todas las materias primas, el uso eficiente del espacio, el agua, los materiales y la energía, la deforestación, el desperdicio de alimentos, las pérdidas postcosecha, el cambio climático y la transformación de áreas naturales. La gobernanza de la tierra a escala local, nacional e internacional, junto con unos sistemas inteligentes de planificación del uso y gestión de la tierra serán esenciales para guiar una transición de tal envergadura.

© Juan Carlos Huayllapuma / CIFOR

REFERENCIAS:

1 PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (2017). Exploring the impact of changes in land-use and land condition on food, water, climate change mitigation and biodiversity; Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook. PBL Report. Den Haag.

2 Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., O'Neill, B.C., Ebi, K.L., Riahi, K., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: Scenario matrix architecture. Climatic Change **122** (3): 373-386.

3 Alcamo, J. and Ribeiro, T. 2001. Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental Issues Report number 24. European Environment Agency, Copenhagen.

4 O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., et al. 2014. A new scenario framework for climate change research: The concept of shared socioeconomic pathways. Climatic Change **122** (3): 387-400.

5 Stehfest, E., van Vuuren, D., Bouwman, L., and Kram, T. 2014. Integrated assessment of global environmental change with IMAGE 3.0: Model description and policy applications. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

6 Lutz, W., Butz, W.P., and Samir, K.E. (eds.). 2014. World population and human capital in the twenty-first century. OUP, Oxford.

7 Jiang, L. and O'Neill, B.C. 2015. Global urbanization projections for the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 192-199.

8 Dellink, R., Chateau, J., Lanzi, E., and Magné, B. 2015. Long-term economic growth projections in the Shared Socioeconomic Pathways. Global Environmental Change **42**: 200-214.

9 O'Neill, B.C., et al. 2014. Op. cit.

10 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Temme, A.J., Batjes, N.H., and Brink, B.J.E. ten. 2017a. S World: A global soil map for environmental modelling. Land Degradation and Development **28**: 22-33.

11 Stoorvogel, J.J., Bakkenes, M., Brink, B.J.E ten, and Temme, A.J. 2017b. To what extent did we change our soils? A global comparison of natural and current conditions. Land Degradation and Development. DOI: 10.1002/ldr.2721.

12 www.globio.info

13 Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P., Wada, Y., Wisser, D., de Graaf, I.E., et al. 2014. Development and validation of PCR-GLOBWB 2.0: A 5 arc min resolution global hydrology and water resources model. Geophysical Research Abstracts **16**: EGU20149993.

14 De Graaf, I.E.M., Sutanudjaja, E.H., van Beek, L.P.H., and Bierkens, M.F.P. 2014. A high resolution global scale groundwater model. Hydrology and Earth System Sciences Discussions **11** (5): 5217-5250.

15 Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., Van Meijl, H., Lassaletta, L., et al. (forthcoming). Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and landbased climate change mitigation. Global Environmental Change.

16 Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., et al. 2017. Land-use futures in the shared socio-economic pathways. Global Environmental Change **42:** 331-345.

17 Ibid.

18 PBL. 2012. Roads from Rio+ 20: Pathways to achieve global sustainability goals by 2050. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, The Netherlands.

19 Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., and Rockström, J. 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. Environmental Research Letters **11 (2):** 025002.

20 The numbers are derived by applying Stoorvogel et al. 2017a and Stoorvogel et al. 2017b in the IMAGE model.

21 Houghton, R.A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land-use and land management 1850–2000. Tellus B **55 (2): 378-390.**

22 Levy, P., Friend, A., White, A., and Cannell, M. 2004. The influence of land-use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. Climatic Change **67 (2-3): 185-209.**

23 Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M., Ellis, E.C., Ruddiman, W.F., Lemmen, C., and Goldewijk, K.K. 2011. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. The Holocene **21** (5): 775-791.

24 Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, J., et al. 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences 7: 1505-1514.

25 Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T.R., and Friborg, T. 2008. Observations and status of peatland greenhouse gas emissions in Europe. In: Dolman, A.J., Valentini, R., and Freibauer (eds.) The Continental-Scale Greenhouse Gas Balance of Europe. Springer, New York, pp. 243-261.

26 PBL. 2017. Op. cit.

27 Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W. 2015. Trends in global CO2 emissions: 2013/2014/2015 Report: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and European Commission Joint Research Centre, The Hague and Ispra, Italy.

28 Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Table 6.3, p. 431.

29 See also UNFCCC Paris agreement art. 2 p.: Holding the increase in the global average temperature to well below 2°C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels. Scenarios with a likely (>66%) probability to keep global temperature change below 2°C should limit future cumulative CO2 emissions to 630-1180 GtCO2 (170-320 Gt C).

30 Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., et al. 2016. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. Nature **534** (7609): 631-639.

31 Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlík, P., Ahammad, H., et al. 2014. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. Proceedings of the National Academy of Sciences 111 (9): 3274-3279.

32 Joint Research Centre of the European Commission. 2017. Challenges of Global Agriculture in a Climate Change Context by 2050; Authors: Van Meijl, H., Lotze-Campen, H., Havlik, P., Stehfest, E., Witzke, P., Pérez-Domínguez, I., Levin-Koopman, J., Fellmann, T., and Tabeau, A.; Editors: Pérez-Domínguez, I. and Fellmann, T.; JRC Technical Reports.

33 Burke, M.B., Miguel, E., Satyanath, S., Dykema, J.A., and Lobell, D.B. 2009. Warming increases the risk of civil war in Africa. Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (49): 20670-20674.

34 Gleditsch, N.P. 2012. Whither the weather? Climate change and conflict. Journal of Peace Research **49** (1): 3-9.

35 Kelley, C.P., Mohtadi, S., Cane, M.A., Seager, R., and Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proceedings of the National Academy of Sciences 112 (11): 3241-3246.

36 Van Schaik, L. and Dinnissen, R. 2014. Terra Incognita: Land degradation as underestimated threat amplifier. Clingendael, Netherlands Institute of International Relations, The Hague.

37 Crowther, T., Todd-Brown, K., Rowe, C., Wieder, W., Carey, J., et al. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. Nature **540** (7631): 104-108.

38 Hao, P., Sliuzas, R., and Geertman, S. 2011. The development and redevelopment of urban villages in Shenzhen. Habitat International 35 (2): 214-224.

39 d'Amour, C.B., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., et al. 2016. Future urban land expansion and implications for global croplands. Proceedings of the National Academy of Sciences 201606036.