

La tierra como recurso escaso ante el reto de la descarbonización:

la malinterpretación
de este reto y el papel
de los inversores
para solventarlo

Autor

Tim Searchinger

Tim Searchinger es investigador principal senior de la Escuela de Asuntos Públicos e Internacionales de Princeton y Senior Fellow en el *World Resources Institute*, donde ejerce de Director Técnico de Agricultura, Silvicultura y Ecosistemas.

El trabajo de Searchinger combina la ecología, la agronomía y la economía para analizar el reto de cómo alimentar a una población mundial creciente y reducir al mismo tiempo la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura. Entre sus publicaciones figuran varios artículos en *Science* y *Nature* sobre bioenergía, contaminación por nitrógeno e implicaciones de la agricultura y el cambio de uso del suelo para el efecto invernadero. Fue el autor principal de un informe exhaustivo y detallado que describe estos retos y las posibles soluciones, titulado *Creating a Sustainable Food Future*, publicado en 2019 por el WRI, el Banco Mundial y las Naciones Unidas.

índice

01	Introducción	04
02	La situación actual del uso de la tierra en el mundo	05
03	Por qué suele subestimarse la naturaleza limitada de la tierra como recurso	07
04	Medidas clave para orientar la inversión hacia la producción y la reducción	16
<hr/>		
	Referencias	24

01

Introducción

¿Se enfrenta el planeta al inmenso reto de usar la tierra para satisfacer la creciente demanda de alimentos en el mundo y, al mismo tiempo, preservar terrenos naturales para asegurar el carbono y la biodiversidad? ¿O acaso existe tanta tierra sin utilizar que se pueden dedicar grandes extensiones a producir bioenergía, empezar de inmediato la reforestación de cientos de millones de hectáreas de pastizales e impulsar prácticas agrícolas que utilicen menos insumos pero también produzcan menos alimentos por hectárea?

Un lector meticuloso de artículos científicos, informes oficiales o buen periodismo podría pensar igualmente que el mundo o bien tiene escasez de tierras, o bien tiene excedentes. Por desgracia, la primera opinión es más acertada: el planeta se enfrenta a la naturaleza limitada del recurso de la tierra (*land squeeze*), porque necesita simultáneamente producir más alimentos y fibras, y dejar más tierras en estado natural. Matemáticamente, la única manera de conseguir estos objetivos es producir más alimentos en la misma superficie o reducir el crecimiento de la demanda de productos que requieren un uso intensivo de la tierra. En la práctica, son necesarias ambas cosas. Quienes invierten en el sistema alimentario deberían guiarse por estos principios cuyo fin es “producir y reducir”. Este artículo aborda cómo y por qué dirigir adecuadamente las inversiones exige reformar los criterios de contabilidad de los gases de efecto invernadero que utilizan las empresas, para que estas sean conscientes del coste de oportunidad del carbono de la tierra. También se necesitan inversiones para que el uso de la tierra sea más eficiente, sobre todo para aumentar la eficiencia de la producción de carne de vacuno y desarrollar alternativas a ella, y para buscar innovaciones cruciales.

02

La situación actual del uso de la tierra en el mundo

Hasta la fecha, el ser humano ha convertido alrededor de la mitad de las tierras del mundo con vegetación en terrenos agrícolas, y ha explotado y manipulado de alguna manera al menos tres cuartas partes de los bosques que quedan en el planeta¹. Es probable que incluso más. Como hacer eso libera gran parte de la inmensa cantidad de carbono almacenado en la vegetación y el suelo, estas transformaciones son responsables de al menos una cuarta parte del dióxido de carbono que el ser humano ha incorporado a la atmósfera. Estos cambios también explican casi todas las pérdidas de vida salvaje y biodiversidad en el mundo. Junto con el uso de la energía, la agricultura y la silvicultura son los principales factores humanos que impulsan la degradación medioambiental a escala global.

La causa fundamental de este daño no son unas prácticas agrícolas o forestales malintencionadas, es el uso extensivo de la tierra necesario para alimentar y proporcionar madera a 8.000 millones de personas. Si no se hubieran producido grandes avances agrícolas, se habrían transformado aún más bosques y sabanas. Y la población mundial probablemente sería menor, algo que, aunque tal vez parezca atractivo, se habría debido a más hambrunas periódicas y la malnutrición infantil.

El ritmo al que los hábitats naturales se convierten en tierras agrícolas es cada vez mayor. La transformación de bosques en pastos es la principal fuente directa de conversión agrícola². Un buen estudio por satélite de la transformación de las tierras de cultivo a escala global, que está disponible desde hace solo dos años, ha revelado que la tasa neta a la que se han expandido las tierras de cultivo en los últimos tiempos es de 10 millones de hectáreas al año³. Si esta tendencia se mantiene entre los años 2020 y 2050, el ser humano desbrozará una superficie adicional del tamaño de la India (unos 300 millones de hectáreas).

Dado que la población mundial se está acercando a los 10.000 millones de personas y que el aumento de los ingresos favorece un mayor consumo de alimentos que requieren un uso intensivo de la tierra, como la carne y la leche, la mayoría de los modelizadores prevén una expansión agrícola a gran escala⁴. Los modelos elaborados para el informe *Creating a Sustainable Food Future*, del World Resources Institute, el Banco Mundial y Naciones Unidas, destacaron que el grado de expansión depende mucho del aumento del rendimiento por hectárea, tanto en el caso de los cultivos como en el de la carne y la leche⁵. El modelo preveía que, si el rendimiento agrícola regional siguiera creciendo a un ritmo similar al posterior a los años sesenta, se produciría una expansión de las tierras de cultivo de 200 millones de hectáreas. Si lo hiciera a un ritmo más lento, el que se produjo entre 1989 y 2008, su superficie

1 Las referencias del artículo no citadas pueden encontrarse en el informe, [Searchinger et al. \(2023\)](#). *The Global Land Squeeze: Managing the World's Growing Competition for Land*. World Resources Institute.

2 [Weisse and Goldman \(2021\)](#)

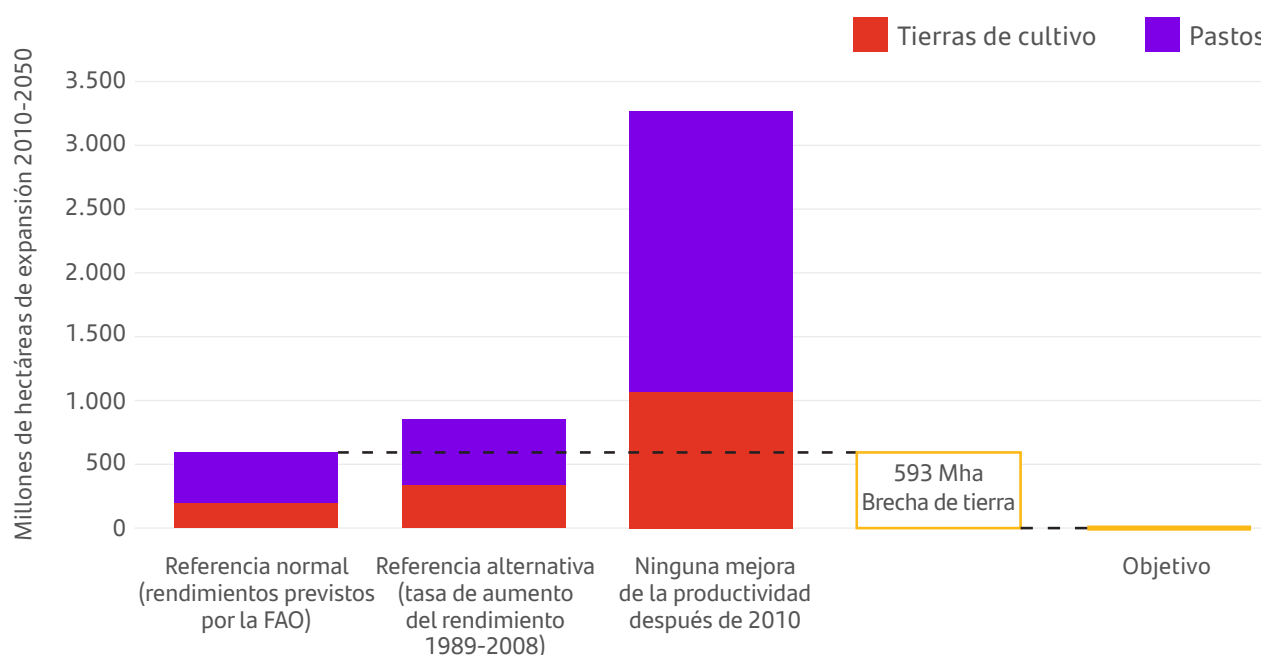
3 [Potapov et al. \(2021\)](#)

4 [Schmitz et al. \(2014\)](#)

5 [Searchinger et al. \(2019\)](#)

aumentaría 300 millones de hectáreas. Y si el rendimiento global no aumentara nada, la expansión de las tierras de cultivo del planeta superaría los 1.000 millones de hectáreas, y la de los pastos supondría miles de millones de hectáreas más.

Figura 1: Incremento de las tierras agrícolas probablemente necesario en 2050 en comparación con 2010



Nota: la ampliación de las "tierras de cultivo" incluye un aumento de 20 Mha de estanques para acuicultura en las dos referencias previstas y uno de 24 Mha cuando no se considera "ninguna mejora de la productividad después de 2010"

Fuente: modelo GlobalAgri-WRR en Creating a Sustainable Food Future

La primera columna representa la previsión de expansión agrícola basada en un aumento del rendimiento similar a las medias históricas. La segunda representa la previsión de expansión basada en un aumento del rendimiento como el que se produjo en un periodo reciente de veinte años. Y la tercera columna representa la expansión prevista con el mismo rendimiento y la misma eficiencia ganadera que en 2010. Este último escenario destruiría la mayor parte de los bosques y las sabanas húmedas que quedan en las zonas templadas y los trópicos.

Esta probable expansión contrasta con casi todas las vías factibles que, según el Acuerdo de París, podrían estabilizar el clima. Estas no solo requieren estabilizar la extensión de tierras agrícolas, sino reducirlas para 2050⁶. También habrá que restaurar el hábitat natural de algunas tierras agrícolas para evitar la probable extinción masiva de especies que se producirá con el cambio climático⁷.

6 Rogelj *et al.* (2018), Sanderson, O'Neill, and Tebaldi (2016)

7 IPBES (2019)

03

Por qué suele subestimarse la naturaleza limitada de la tierra como recurso

Pese a que el cálculo aritmético que exige rendimientos mayores y una menor demanda de tierra es sencillo, muchos trabajos académicos y muchas propuestas políticas recomiendan comportamientos que requerirían aún más tierras:

- Existen numerosos artículos de investigación y políticas gubernamentales que promueven la utilización de la bioenergía, lo que aumenta mucho la competencia por la tierra. El desvío mundial de grano para la producción de biocombustibles es, solo en Estados Unidos y Europa, y teniendo en cuenta los subproductos, el doble del grano exportado por Ucrania⁸. Muchas estrategias climáticas demandan tanta bioenergía que sería necesario quemar una cantidad de biomasa equivalente a todos los cultivos, la madera y los forrajes del planeta⁹. Si en el futuro una cuarta parte de los combustibles de aviación procediera de aceites vegetales, la producción de aceite vegetal en el mundo tendría que duplicarse (cálculo del autor), aunque la expansión actual ya está provocando la deforestación tropical¹⁰.
- Algunos expertos defienden una “agricultura regenerativa” como medio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la agricultura. No está claro qué implica exactamente esta agricultura regenerativa, pero hay quien propone la conversión de los cultivos en pastos con el fin de secuestrar carbono en el suelo y aumentar la producción de alimentos orgánicos, pese a que la producción de alimentos sería mucho menor¹¹. Algunas voces consideran que el Kernza, una variedad de trigo perenne, es la solución al cambio climático, aunque debido a su bajo rendimiento serían necesarios 500 millones de hectáreas más de tierra de cultivo en el mundo para producir una cantidad de trigo comparable¹².

8 Searchinger et al. (2022)

9 Searchinger, Beringer, and Strong (2017)

10 Weisse and Goldman (2021)

11 Thorbecke and Dettling (2019), Stanley *et al.* (2018), Fuchs, Brown, and Rounsevell (2020)

12 Kaplan (2021)

13 Bastin et al. (2019), Griscom (2017)

14 Chapman et al. (2020), Roe *et al.* (2021)

→ Ciertas investigaciones también sugieren que ahora se pueden reforestar con fines climáticos cientos de millones de hectáreas de tierra en todo el mundo¹³, o plantar árboles en amplias extensiones de tierras de cultivo¹⁴. Esta recomendación se hace sin establecer ninguna condición previa para que se reduzca la necesidad de tierras agrícolas en el planeta, ya sea mediante una mejora del rendimiento o una reducción de la demanda.

Hay por lo menos cinco suposiciones erróneas que apoyan esta impresión de que las tierras excedentes abundan.

01 La bioenergía y considerar las tierras como “libres”

El principal error surge de los sistemas de contabilidad climática que, de hecho, tratan los usos de las tierras agrícolas existentes como “libres”, en el sentido de que cambiar un uso de la tierra por otro no tiene coste climático. Este es el error que con frecuencia ha motivado las subvenciones y las resoluciones en materia de bioenergía.

Cuando se quema biomasa (plantas muertas u otra materia orgánica) para obtener energía, se libera dióxido de carbono. Debido a la naturaleza de sus enlaces químicos, la bioenergía libera directamente más carbono por unidad de energía que la quema de petróleo o gas natural y, generalmente, incluso más que el carbón. ¿Por qué, entonces, se suele pensar que sustituir los combustibles fósiles por bioenergía conllevará una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero? La respuesta está en la idea de que la biomasa es neutra en carbono, porque simplemente recicla el que se ha absorbido durante el crecimiento de las plantas. Esta forma de contabilidad no tiene en cuenta el carbono que se emite durante la quema de la biomasa.

El problema es que esta contabilidad ignora que para cultivar plantas se necesitan tierras. Y si esas tierras se dedican a cultivar plantas para producir bioenergía, no se están utilizando para cultivar plantas que satisfacen otras necesidades humanas. Estas necesidades pueden ir desde la producción de alimentos, el almacenamiento de carbono y garantizar la biodiversidad de la vegetación autóctona, hasta el secuestro de más carbono mediante la reforestación o incluso el suministro de energía fotovoltaica. Por lo tanto, el uso de la tierra para obtener biocombustibles tiene un coste de oportunidad climático real, porque se renuncia a estos otros usos.

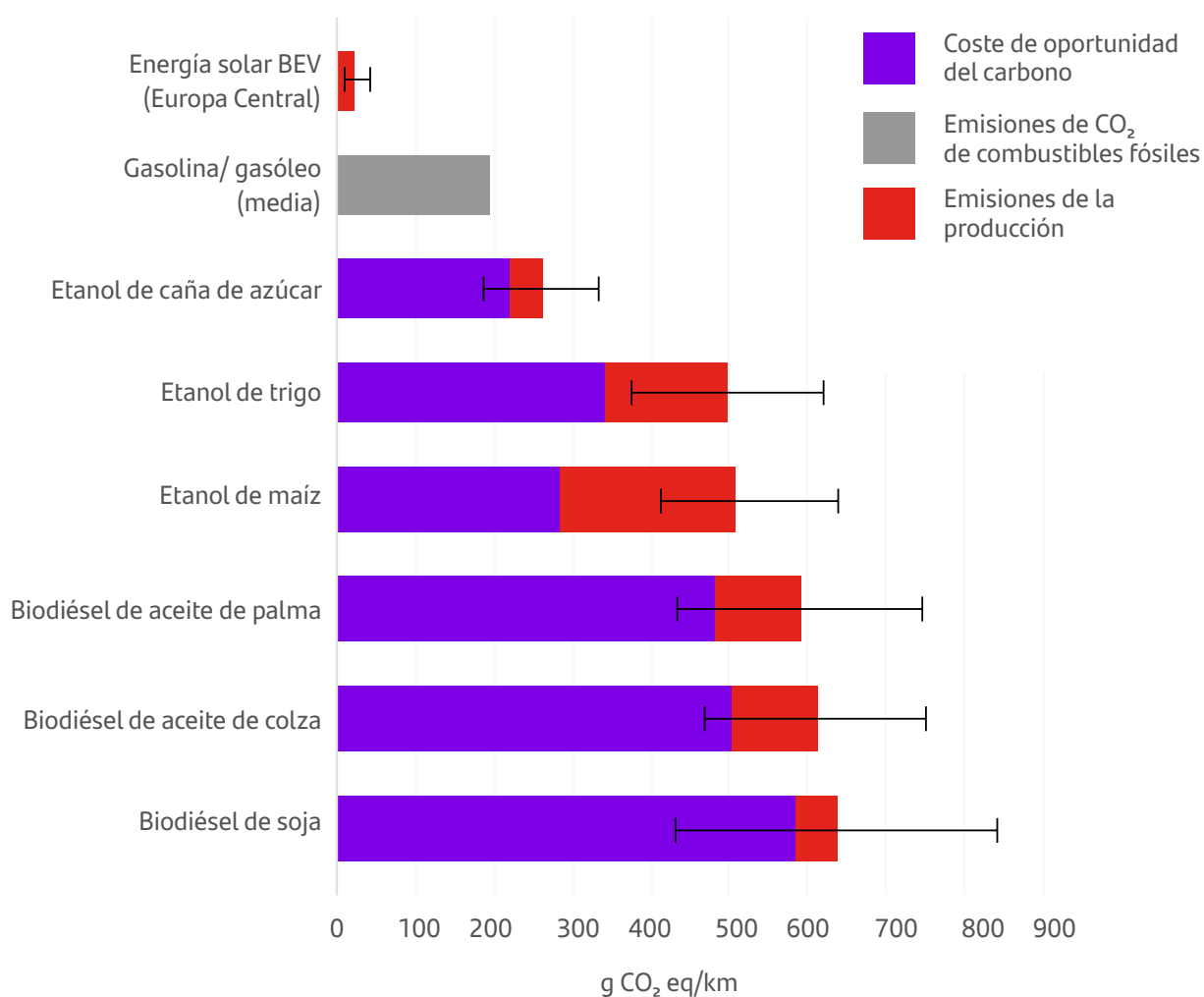
Cualquier comparación deja claro que este coste de oportunidad es elevado.

13 Bastin *et al.* (2019), Griscorn (2017)

14 Chapman *et al.* (2020), Roe *et al.* (2021)

En primer lugar, lo más obvio es que, en un contexto en el que las tierras agrícolas se están expandiendo, el mejor uso que se puede dar a las existentes, incluso para el clima, suele ser la producción de alimentos, para evitar el coste de carbono que supone desbrozar nuevas tierras para ese uso. El método más eficaz para evaluar los *trade-offs* es una comparación directa: medir las emisiones medias de carbono que genera el cultivo de plantas destinadas a la producción de biocombustibles y cotejarlas con las emisiones evitadas al sustituir la gasolina o el gasóleo por biocombustibles. Dividir luego este coste del uso de la tierra entre treinta años es una manera de determinar el efecto neto sobre las emisiones durante este periodo. El resultado, como se muestra en la **Figura 2**, es que el etanol obtenido del maíz o el trigo suele duplicar el coste del carbono de la gasolina, y el biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales prácticamente lo triplica.

Figura 2: Coste del carbono de diferentes combustibles



Fuente: Searchinger *et al.* (2018)

En segundo lugar, desmontar hábitats naturales para dejar espacio a cultivos para biocombustibles suele causar un aumento neto de las emisiones de carbono, que supera cualquier ahorro de emisiones derivado de la sustitución de los combustibles fósiles¹⁵. Es más, permitir que la tierra agrícola excedente vuelva a su estado natural boscoso, si esos terrenos estuvieran disponibles, casi siempre proporcionaría beneficios climáticos más sustanciales que su utilización para la producción de biocombustibles¹⁶. Si en el futuro los biocombustibles de plantas herbáceas de crecimiento rápido tuvieran rendimientos muy altos, se podría conseguir una disminución de gases de efecto invernadero mayor que la de la reforestación, pero incluso entonces el porcentaje de reducción estará lejos del 100%. Por lo tanto, es más beneficioso para el mundo que se sustituyan los combustibles fósiles de otra manera y se reforeste la tierra.

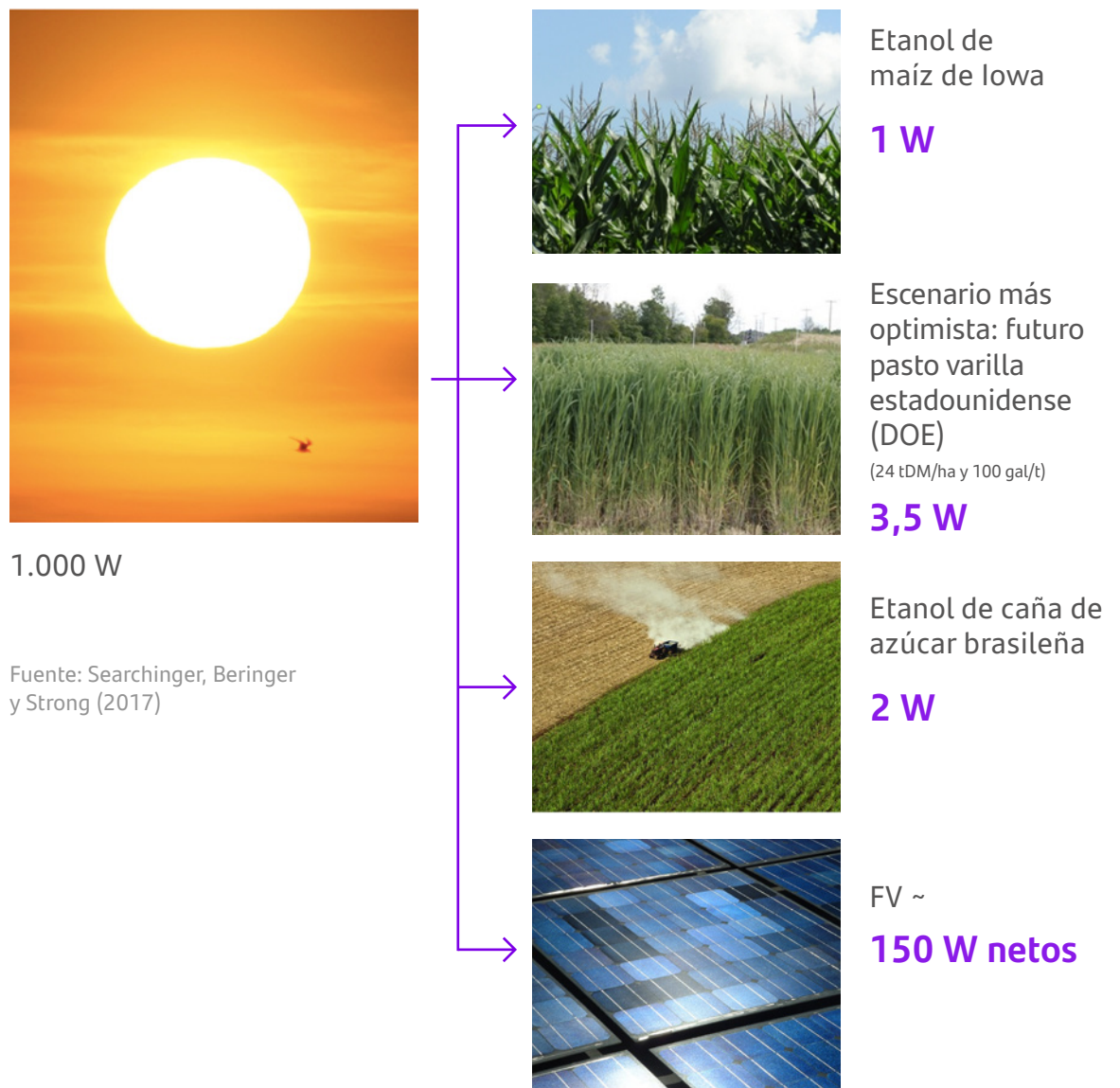
En tercer lugar, cada vez es más probable que una parte de las tierras agrícolas tengan que destinarse a ubicar instalaciones de energía solar fotovoltaica (FV). Los biocombustibles implican utilizar ineficientemente la tierra para la producción de energía. Incluso en unas condiciones agrícolas óptimas, los biocombustibles generan un rendimiento energético neto de apenas 1 o 2 julios por cada 1.000 julios de radiación solar recibida. En cambio, los sistemas fotovoltaicos contemporáneos pueden producir unos 150 julios netos, como se indica en la **Figura 3**¹⁷. Además, como la eficiencia de los motores eléctricos casi triplica la de los motores de combustión interna convencionales, y las bombas de calor son más eficientes que los sistemas de calefacción que utilizan combustibles fósiles, la producción efectiva de energía por hectárea de las instalaciones fotovoltaicas es casi 300 veces la de la bioenergía.

15 Searchinger *et al.* (2015); Evans *et al.* (2015)

16 Searchinger *et al.* (2015); Evans *et al.* (2015)

17 Searchinger, Beringer, and Strong (2017)

Figura 3: La eficiencia del uso de la tierra de la conversión solar y de los biocombustibles es mucho más baja que la de la energía fotovoltaica



02 Considerar los pastos como “libres”

Un artículo muy citado que se publicó en la prestigiosa revista *Science*¹⁸ afirmaba que el mundo tenía capacidad para reforestar unos 1.000 millones de hectáreas de tierra, aunque se excluyeran las zonas agrícolas de las tierras susceptibles de reforestación. Esta superficie con supuesto potencial de reforestación es mayor que la de los Estados Unidos continentales. Pero en realidad este análisis no excluía las zonas agrícolas. Solo quitaba las tierras de cultivo, no los pastos. El artículo que acuñó el término “soluciones climáticas naturales” también se basaba en la reforestación de grandes zonas de pastos húmedos¹⁹. Ambos artículos consideraban que los alrededores de 1.000 millones de hectáreas de pastizales que el ser humano ha creado en los bosques autóctonos del mundo, que incluyen gran parte de Europa, el este de Estados Unidos y Brasil, eran susceptibles de reforestación. Estos son además los pastos más productivos del planeta. Aunque ahora podrían reforestarse algunos pastos mal gestionados y muy inclinados, en general estas tierras solo estarían disponibles si se llevaran a cabo con mucho éxito iniciativas para reducir el consumo de carne de vacuno y producir más en la misma tierra.

03 No comunicar apropiadamente la competencia por el uso del suelo al informar sobre los resultados del modelo

Otro problema importante es que el modo de presentar los resultados suele dar a entender que el reto del uso de la tierra se resuelve de manera automática. En el pasado, el mundo aumentó el rendimiento de los cultivos o el ganado siguiendo una tendencia continua, y si ahora los modelizadores asumen que en el futuro el rendimiento no mejorará, podría parecer que están exagerando los perjuicios futuros. Pero si asumen grandes y continuadas mejoras del rendimiento, el cambio previsto en el uso de la tierra será mucho menor o incluso inexistente. Los lectores pueden tener fácilmente la impresión de que estos aumentos de rendimiento son automáticos y, por lo tanto, no son algo que requiera una acción positiva.

En realidad, ninguna mejora del rendimiento es automática. En el pasado, estas se debieron a importantes esfuerzos privados y públicos, grandes cambios tecnológicos e infraestructuras. En la mayor parte del mundo, muchos de los factores impulsores de entonces ya no podrán darse en el futuro debido a los elevados costes medioambientales y un uso que ya es extensivo, por ejemplo con la introducción de fertilizantes sintéticos en casi todo el mundo y la duplicación del riego. En el futuro, serán necesarias importantes iniciativas políticas públicas y privadas, así como una mayor dependencia de una “agricultura más inteligente” para conseguir la tasa de aumento del rendimiento necesaria.

18 Bastin *et al.* (2019)

19 Griscom (2017)

04 El cambio de uso de la tierra, la externalización y la atribución indebida de tierras excedentes

En el mundo del béisbol estadounidense existe una expresión que dice que un niño rico nació en la tercera base y pensó que había bateado un triple. Para gran parte del mundo, el equivalente a eso es una persona que nace en la segunda mitad de un partido de fútbol, con una ventaja de 3-0, y cree que es Lionel Messi. Estas expresiones describen bien la situación del uso de la tierra a la que se enfrenta el mundo de clima templado.

Europa, Estados Unidos y China desbrozaron en el pasado tantas tierras para la agricultura que hace décadas que la superficie agrícola está disminuyendo. (Parte de esta reducción se debió a la utilización de coches y tractores que sustituyeron a los caballos, que necesitaban grandes extensiones de avena y heno para alimentarse). Con poblaciones estables e incluso decrecientes, mientras los rendimientos sigan creciendo será necesaria menos tierra agrícola. Además, Europa y China han externalizado gran parte de la producción de alimentos a otros países, dejando libres tierras en Europa²⁰.

Los Gobiernos, así como muchos individuos, quieren pensar que esta disminución de la necesidad de tierras agrícolas deja libre terrenos que pueden utilizarse de otra manera. Por ejemplo, aunque Europa ya utiliza para su consumo agrícola una hectárea de tierra de cultivo en el extranjero por cada cuatro hectáreas en Europa, su nuevo plan climático, Objetivo 55, contempla destinar alrededor de una quinta parte de las tierras de cultivo europeas a cultivos energéticos²¹. Pero estas tierras no están libres. Son necesarias para proporcionar alimentos y satisfacer la demanda mundial. Y si ya no resultan rentables para la producción de alimentos, son necesarias para la reforestación, para secuestrar carbono y proporcionar algo de biodiversidad, para contribuir a equilibrar el carbono y la biodiversidad que se están perdiendo debido a la conversión de tierras en el extranjero.

Europa ya ha prohibido por ley la importación de varios productos agrícolas importantes cultivados en tierras recién deforestadas, por ejemplo la soja, la carne de vacuno y el café. Esto es encomiable. Pero debido a estas ideas erróneas sobre las tierras excedentes, el plan climático de Europa contempla una dependencia aún mayor de tierras de cultivo existentes en el extranjero, que ahora alimentan a otras personas, y además no asume ninguna responsabilidad por la deforestación resultante de sustituir los alimentos para esa gente.

20 Pendrill *et al.* (2019), Searchinger *et al.* (2022)

21 Searchinger *et al.* (2022)

05 La afirmación de que un uso del suelo queda libre cuando otro disminuye

Muchos artículos científicos o defensores de determinadas causas aseguran que el uso que ellos prefieren para la tierra adicional no tiene costes climáticos extra, siempre que otros reduzcan el uso que hacen de la tierra. Por ejemplo, algunos expertos europeos abogan por un cambio generalizado hacia métodos agrícolas menos intensivos, pero afirman que eso no tendrá costes vinculados al uso de la tierra porque Europa también puede reducir drásticamente el consumo de carne y leche²². El Comité sobre el Cambio Climático (CCC) de Reino Unido afirmó que puede haber tierra disponible para la bioenergía siempre y cuando la gente cambie de manera radical el consumo de carne y además reduzca las pérdidas y el desperdicio de alimentos²³.

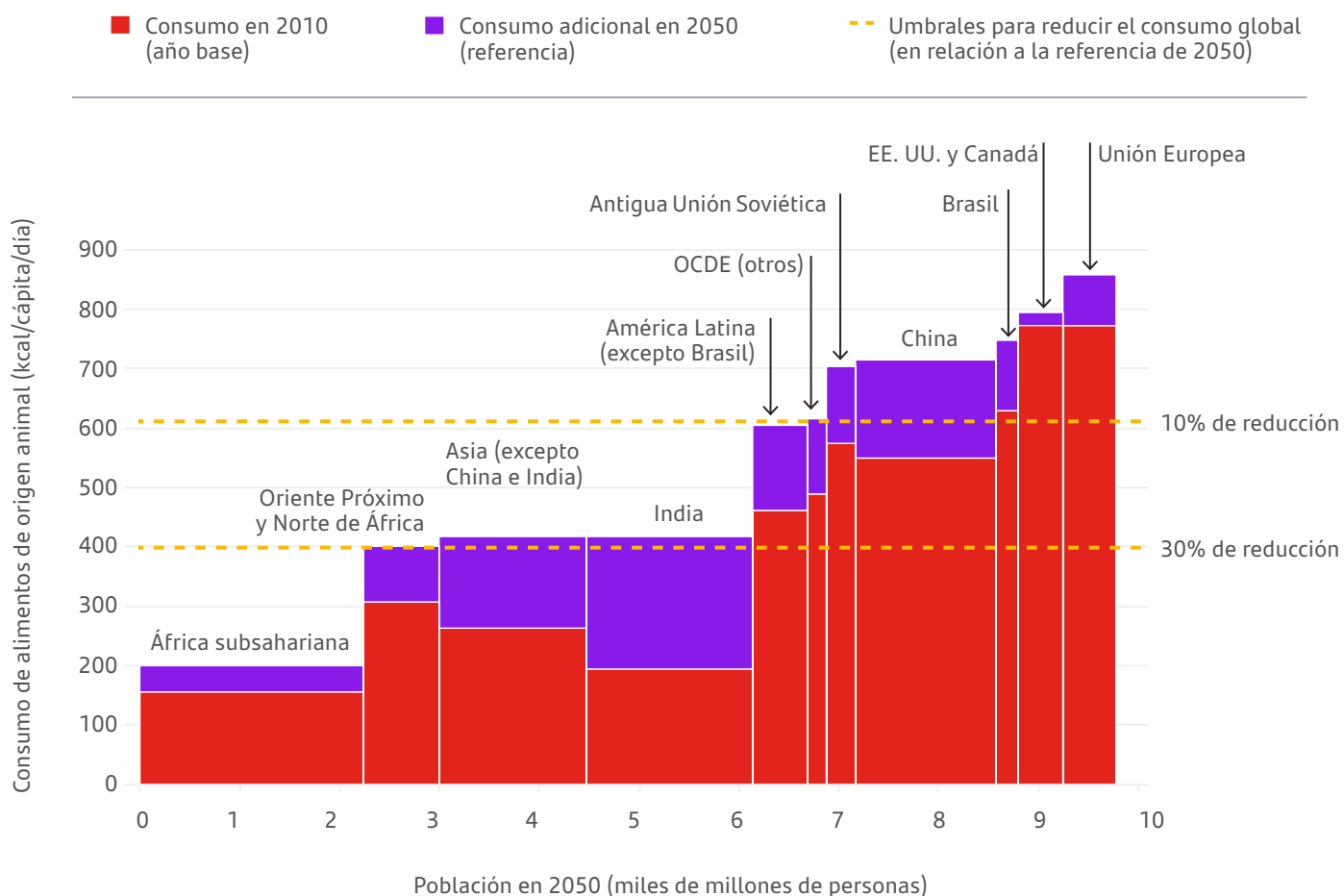
Estas afirmaciones adolecen de limitaciones fácticas y lógicas. Como demuestra la **Figura 4**, en el año 2050 se prevé que más de 6.000 millones de personas residan en países en los que el consumo de carne, leche y pescado sea aproximadamente una cuarta parte del de la población occidental. Dado que el nivel de consumo de carne y leche en estas regiones es mínimo y es probable que aumente, resulta imperativo que los ciudadanos occidentales reduzcan su consumo simplemente para estabilizar el uso global de la tierra.

Y, como es lógico, el mundo necesita encontrar todas las formas posibles de ahorrar tierra para producir alimentos o restaurar los hábitats naturales y su carbono. Esto significa que, en la medida en que los occidentales puedan reducir sus necesidades de uso de la tierra, esta seguirá siendo necesaria para estos otros fines y no creará margen para generar una demanda aún mayor de tierra.

22 Aubert, Schoob, and Poux (2019)

23 UK Committee on Climate Change (2020)

Figura 4: La reducción del consumo de carne en Occidente es necesaria para permitir que otros puedan aumentar ligeramente su ingesta



En este gráfico, el eje horizontal representa la población de cada región o país, y el vertical el consumo en calorías de carne, leche y pescado por persona. El rojo representa el consumo en 2010 y el morado incorpora las proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura sobre el aumento del consumo en 2050. Las líneas de reducción del 10% y el 30% representan el nivel máximo de consumo de alimentos que puede tener cada país o región si el mundo quiere reducir el consumo de productos de origen animal en esos porcentajes, en comparación con los niveles previstos para 2050. El gráfico muestra que más de 6.000 millones de personas viven en países o regiones donde el consumo medio por persona es de apenas unas 200 kcal diarias, frente al consumo occidental de unas 800 kcal.

Fuente: Searchinger *et al.* (2019)

04

Medidas clave para orientar la inversión hacia la producción y la reducción

La inversión desempeña un papel clave a la hora de “producir y reducir”. Dirigir la inversión de manera adecuada exige, primero, determinar correctamente los incentivos para los inversores. Unos pocos ejemplos destacan, a continuación, algunas inversiones prioritarias.

En primer lugar, contabilizar bien el carbono

Unas reglas de contabilidad del carbono incorrectas, entre ellas las que orientan a los inversores, son la razón fundamental de que el curso que han tomado las políticas y la investigación sobre el uso de la tierra sea un error. La primera regla para orientar bien la inversión es tener debidamente en cuenta la verdadera importancia climática de utilizar más o menos tierra.

El problema básico, como ya se ha explicado en el caso de los biocombustibles, es que la contabilidad climática trata las tierras agrícolas existentes como si estuvieran “libres”. Si los productos agrícolas se generan en tierras recién desbrozadas, las reglas habituales establecen que las empresas deben responsabilizarse de las emisiones del carbono perdido. Sin embargo, cuando se trata de tierra agrícola existente no importa cuánta se utilice, o cuántos productos que requieren un uso intensivo de ella se consuman, a ese uso no se le asigna ningún coste climático. En consecuencia, las empresas pueden disminuir los rendimientos, dejar de utilizar tierras para la producción de alimentos o aumentar el uso de productos que necesitan mucha tierra, y las reglas contables no les asignarán emisiones. En resumen, estas reglas asignan potencialmente costes climáticos en función de dónde obtienen las empresas sus productos agrícolas, pero no asignan ningún coste climático en función de la cantidad de tierra que utilizan las empresas. Esto también significa que estas no tienen incentivos para utilizar menos tierra.

¿Cuál debería ser la regla? Imagina que solo existiera una empresa agrícola en el mundo que produjera alimentos y los distribuyera, y que la demanda global de alimentos creciera un 1% al año. Si los rendimientos crecieran un 1% al año, no se produciría una expansión neta de las tierras agrícolas. Pero si los rendimientos solo lo hicieran un 0,5% al año, la tierra agrícola se expandiría un 0,5% cada año. Aunque no parece demasiado, eso supondría unos 25 millones de hectáreas de tierra. Por el contrario, si los rendimientos aumentaran un 1,5% al año, la superficie de tierra agrícola se reduciría unos 25 millones de hectáreas, lo que permitiría destinar esa misma superficie a la reforestación. El mismo cálculo matemático puede aplicarse colectivamente a las empresas. Esta es la razón por la que el grado en que las empresas mejoren los rendimientos se convierte en una medida directa de su contribución a aumentar o evitar las emisiones de carbono fruto del desbroce de tierras.

Una manera sencilla de medir el efecto que tiene la disminución o el aumento de la producción de alimentos es calcular el carbono que se perdería, de media, si se destinaran nuevas tierras de cultivo a producir los alimentos en otro lugar. Cuando aumenta la producción de alimentos por hectárea, se ahorran estos costes. Cuando la producción de alimentos disminuye, aumentan estos costes. Este coste de desviar tierras puede considerarse el coste de oportunidad del carbono²⁴.

Utilizando esta métrica, las empresas que quieran reducir sus emisiones deberían desarrollar objetivos para aumentar la eficiencia del uso de la tierra a un ritmo suficiente para no contribuir al cambio del uso de la tierra. En el caso de las empresas que producen alimentos, eso requiere básicamente aumentar el rendimiento. En el de las empresas que interactúan con los consumidores, implica animar a estos a empezar a consumir productos que requieran un uso de la tierra menos intensivo, por ejemplo, pasar de las hamburguesas de carne a "hamburguesas" vegetales. Si las empresas superan sus objetivos, estarán haciendo que haya más tierra disponible para satisfacer otras necesidades alimentarias y deberían ser recompensadas por reducir las emisiones derivadas del cambio de uso de las tierras.

Buscar las principales oportunidades de reducción

Hay dos oportunidades clave que pueden orientar las inversiones para "reducir" la demanda humana de productos que requieren un uso intensivo de la tierra: invertir en alternativas a la bioenergía y la carne de vacuno.



Eliminar los biocombustibles de manera gradual en lugar de fomentarlos

Existen diferentes maneras de determinar la superficie dedicada a biocombustibles, pero según la estimación de uno de los principales partidarios de los biocombustibles, en 2021 el mundo dedicó 84 millones de hectáreas de tierras de cultivo a su producción²⁵. La mayor parte de ese uso de la tierra ha surgido en los últimos veinte años, durante un período en el que es probable que el total de la expansión neta de tierras de cultivo anuales y permanentes haya sido de unos 160 millones de hectáreas²⁶. No hay pruebas de que el aumento de la producción de biocombustibles haya impulsado el rendimiento de los cultivos más allá de las líneas de tendencia. Esto significa que la expansión de los biocombustibles probablemente explica más o menos la mitad de la ampliación de las tierras de cultivo y, por lo tanto, gran parte de la deforestación del planeta.

25 Oil & Fats International, "Only 8% of global crop land used for biofuels" (31 de enero de 2023). <https://www.ofimagazine.com/news/only-8-of-global-crop-land-used-for-biofuels>

26 Potapov *et al.* (2021) hallaron que, entre 2003 y 2019, se produjo una expansión neta anual de las tierras de cultivo de entre 102 y 125 millones de hectáreas. La calcularon utilizando dos métodos diferentes. Usando la tasa media durante veinte años, la estimación de la expansión neta sería de 143 Mha. Durante este tiempo, los datos de la FAO sugerían una expansión de otras 20 Mha de tierras de cultivo permanentes, dando lugar a un total de 163 Mha. Todas estas cifras son imprecisas, por lo que en el texto principal utilizamos números redondos.

Como se ha explicado con anterioridad, los biocombustibles que requieren tierras no utilizan residuos y suponen un uso de la tierra especialmente ineficiente. Deberían eliminarse de manera gradual, sobre todo porque la energía solar es mucho más eficiente.

Invertir en alternativas a la carne de vacuno

La producción mundial de carne de vacuno es la responsable de casi la mitad de la pérdida de carbono derivada de las tierras agrícolas del mundo, pero apenas genera alrededor del 3% de las calorías²⁷. Históricamente, alrededor del 40% de los pastos del mundo han sido boscosos o muy arbolados²⁸, una superficie cuyo tamaño es casi el mismo que el total de las tierras de cultivo del mundo. Estos pastos húmedos proporcionan la mayor parte de la carne de vacuno del mundo. Cuando se analizan las dietas vegetariana y vegana, la gran mayoría de los ahorros relacionados con la tierra y el clima se deben a la reducción del consumo de esta carne²⁹.

Contener el crecimiento global del consumo de carne de vacuno debería ser factible. Actualmente, en Europa Occidental o Estados Unidos la persona media come un tercio menos de esta carne que la persona media de mediados de la década de los setenta³⁰. El consumo per cápita de carne de vacuno ha empezado a disminuir incluso en Brasil.

Una manera de promover alternativas es apoyar las carnes de origen vegetal. La clave de su éxito es obtener productos que igualen el sabor y otros placeres de comer carne de vacuno con un coste igual o menor. Entre las alternativas existentes, las pruebas realizadas por el Good Food Institute han hallado que ahora solo una marca elabora un producto que consigue una experiencia similar a comerse una hamburguesa, cuyas ventas siguen siendo mejores que las de sus competidores aunque aún es más cara que la carne de vacuno real. En general, este es un campo perfecto para realizar inversiones beneficiosas que permitan sacar al mercado más productos comparables a un precio inferior al de la carne de vacuno.

27 Searchinger *et al.* (2019)

28 Searchinger *et al.* (2018)

29 Searchinger *et al.* (2019)

30 Searchinger *et al.* (2019)

Prioridades de producción claves

Cualquier mejora del rendimiento y cualquier aumento de la eficiencia en la alimentación del ganado contribuyen a reducir las necesidades mundiales de uso de la tierra. La mejora de los cultivos, que puede aprovechar los enormes avances en microbiología de las dos últimas décadas, desempeñará probablemente un papel importante, sobre todo si se le proporciona la financiación necesaria para investigación. En gran parte del mundo —a pesar de que las estimaciones varían mucho, debido a los distintos métodos de cálculo— también existen grandes “brechas de rendimiento”. Estas son las diferencias entre los rendimientos ganaderos y agrícolas que consiguen los agricultores y los que serían posibles si, simplemente, se utilizaran opciones de gestión ya conocidas. Dos de ellas merecen especial atención.

Mejorar el rendimiento de los pastos en América Latina

Las tierras de pastoreo húmedas de América Latina constituyen, con diferencia, la mayor reserva mundial de tierras infrautilizadas que, si se utilizaran adecuadamente, podrían ayudar a que el mundo satisficiera la creciente demanda de múltiples productos. En América Latina hay entre 400 y 500 millones de hectáreas de tierra dedicadas a pastos. Alrededor de tres cuartas partes de estas tierras de pastoreo son lo bastante húmedas para proporcionar una producción agrícola mucho mayor o para ser restauradas como bosques u otros hábitats valiosos³¹. La gran mayoría de esta tierra de pastoreo está mal explotada, de modo que suele mantener a menos de un animal por hectárea y, de media, solo produce unos 50 kg de carne de vacuno por hectárea³². En Brasil, el número de cabezas de ganado por hectárea es inferior a una; en Colombia, apenas supera la mitad.

Con el aumento de la demanda global de carne de vacuno, la expansión ganadera es la mayor fuente directa de deforestación, sobre todo en América Latina³³. Al mismo tiempo, mucha de esta tierra es apta para otros cultivos, por ejemplo, la soja³⁴.

31 [Searchinger et al. \(2019\)](#)

32 [Searchinger et al. \(2019\)](#)

33 [Weisse and Goldman \(2021\)](#)

34 [Strassburg et al. \(2014\)](#), [Gibbs et al. \(2015\)](#)

Hay métodos probados que pueden multiplicar por tres o por cuatro la producción de carne de vacuno en cientos de millones de hectáreas. Entre las opciones de gestión básicas están el encalado y la fertilización del suelo, replantar pastizales productivos cuando sea necesario y rotar el ganado rápidamente entre distintos pastos mientras se suministra el agua adecuada. Dedicar parte de una granja a pastos de alto rendimiento puede proporcionar pienso durante la estación seca y evitar que el ganado pierda peso. En las mejores granjas, cada día se lleva al ganado a zonas de alimentación durante un tiempo breve para que consuma algunos concentrados de grano. Algunas de las explotaciones ganaderas más avanzadas utilizan sistemas silvopastoriles intensivos que incluyen arbustos fijadores de nitrógeno que proporcionan nitrógeno a los pastos y son al mismo tiempo un pasto rico en proteínas, así como una capa de árboles que mantiene la humedad y da sombra.

No todos los pastos húmedos serán aptos para este tipo de mejoras, por ejemplo, los que se encuentran en pendientes empinadas. Pero existe una demanda creciente de este tipo de tierras derivada, por ejemplo, de la creciente demanda mundial de carne de vacuno, de otros cultivos como la soja, de madera procedente de plantaciones y de reforestación natural.

En consecuencia, es probable que cualquier solución que pretenda ahorrar tierras para el planeta requiera por lo menos triplicar la producción por hectárea en 200 millones de hectáreas de pastos mal explotados en América Latina³⁵. Con un coste de inversión de unos 2.000 dólares por hectárea, esto significaría que la inversión necesaria es de unos 400.000 millones de dólares en los próximos veinte años.

Muchas granjas ya utilizan estos avances, por lo que su uso puede resultar rentable. El Gobierno de Brasil ha incluido en su estrategia climática la concesión de préstamos subvencionados para este tipo de mejoras, pero no todos los granjeros pueden o quieren aceptar estos préstamos. Se necesitan, además, otros modelos de negocio. Una estrategia interesante liderada por una pequeña empresa consiste en hacerse cargo de la gestión de una granja durante unos diez años y mejorarla mientras se paga al granjero el rendimiento normal y ella se queda los ingresos adicionales, y luego devolverle la granja tras este periodo de arrendamiento. Apoyar múltiples modelos de negocio requerirá grandes inversiones externas.

35 Searchinger et al. (2019)

Mejorar la eficiencia y el rendimiento ganaderos en el África subsahariana

En las dos últimas décadas, la tasa de mejora del rendimiento en el África subsahariana ha sido baja. En un artículo que se encuentra en revisión, otros coautores y yo estimamos que, si se mantiene la baja tasa actual de aumento del rendimiento, la región probablemente necesitará reconvertir 450 millones de hectáreas de tierra —una superficie inmensa— para satisfacer las necesidades de alimentos en 2050. Además del incremento de las emisiones derivado del proceso de producción, en 2050 las emisiones anuales aumentarán hasta las 4 o 5 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente al año, lo que no es compatible con ninguna solución global al cambio climático.

Ese mismo artículo concluye que las medidas básicas para atenuar estas emisiones son esencialmente las mismas que son necesarias para producir alimentos adecuados. Entre ellas están reducir las brechas de rendimiento, concentrar la mayor parte del aumento de la producción ganadera en las aves de corral y los lácteos en lugar de en la carne de vacuno, y tratar los residuos de los cultivos para mejorar su digeribilidad para el ganado. Este último método amplía la oferta de alimentos sin utilizar más tierra.

Aunque algunas inversiones pueden requerir asociaciones público-privadas, el papel de los inversores es clave. Los objetivos más obvios para las empresas son ayudar a los agricultores a revitalizar unas plantaciones de café y de cacao envejecidas y cada vez menos productivas con nuevas plantaciones. En general, será necesario un amplio abanico de inversiones en infraestructuras agrícolas.

Vincular a la protección

Aunque el aumento de los rendimientos es indispensable para evitar que se modifique el uso de la tierra, este no es suficiente. La razón fundamental es el mencionado cambio de uso de las tierras agrícolas. Aunque este permite reforestar algunas tierras y recuperar la biodiversidad, los costes casi siempre superan los beneficios. Los hábitats pueden desbrozarse rápidamente, con lo que se libera su carbono y se destruye su biodiversidad, pero las zonas más antiguas rebrotan con lentitud y, en muchas ocasiones, lo hacen como plantaciones forestales y no como bosques naturales. Además, en general, el mundo ha desplazado la agricultura hacia tierras situadas en los trópicos, más ricas en carbono y con una mayor biodiversidad³⁶.

36 Aide *et al.* (2013), Johnson *et al.* (2014)

Incluso si se produjera un aumento del rendimiento suficiente para evitar la expansión global de la agricultura, es probable que continúen algunos de estos cambios y las consiguientes pérdidas de carbono y biodiversidad. La construcción de carreteras a gran escala que se está produciendo desempeñará un papel importante³⁷, Esta hace que la conversión de zonas forestales sea más rentable, al disminuir el coste de los insumos y reducir el coste de transportar los productos agrícolas.

Por supuesto, los países tropicales también cuentan con razones importantes para preservar sus bosques. El ejemplo más visible es el de la Amazonia, que es una fuente esencial de lluvia para la agricultura de Brasil y que, debido a la conversión que está experimentando, corre el riesgo de convertirse pronto en una sabana, lo que supondría la destrucción de esta reserva de agua.

Una manera de fomentar las inversiones globales para mejorar la productividad agrícola es vincularlas a la protección de los bosques y otros hábitats naturales. De este modo, los países y los Gobiernos que hagan estas inversiones podrán estar seguros de que consiguen los beneficios climáticos deseados. Esto supondría continuar el ejemplo de Brasil. Sus estrategias climáticas de las últimas dos décadas, presentadas originalmente como “plan ABC”, han vinculado el aumento de la ayuda gubernamental para mejorar la agricultura en las tierras existentes —a menudo mediante préstamos baratos— a la protección de los bosques³⁸. Este tipo de inversiones podría basarse en el concepto de “REDD (las siglas en inglés de reducción de las emisiones causadas por la deforestación y la degradación de los bosques) jurisdiccional”, en el que las empresas o los Gobiernos pagan por la deforestación evitada a las jurisdicciones gubernamentales. Otras estructuras similares podrían atraer inversiones internacionales.

36 Aide *et al.* (2013), Johnson *et al.* (2014)

37 Laurance *et al.* (2014)

38 Jackson (2015)

Inversiones en innovación

Abordar el reto global del uso de la tierra exige invertir en innovaciones, tanto para evitar desbrozar más tierras como para reducir el 10% de las emisiones globales derivadas del proceso de producción agrícola, por ejemplo, de metano y óxido nitroso. La idea rectora podría llamarse ecoagricultura de alta tecnología. Aunque el abanico de posibles innovaciones es demasiado amplio para una exposición detallada, hay varios ejemplos en distintas fases de desarrollo que ilustran algunas posibilidades.

- La inhibición de la nitrificación biológica: la utilización de nitrógeno en la agricultura provoca emisiones de óxido nitroso que calientan el planeta, así como una gran contaminación del agua. En ambos casos es necesario que en el suelo el nitrógeno pase de una forma (amonio) a otra (nitrato). Un pequeño grupo de obtentores ha desarrollado una variedad de trigo de alto rendimiento que impide esta transformación y está haciendo avances en otros cultivos. De esta manera, se reducen las emisiones y es posible aumentar los rendimientos³⁹.
- La conversión de los residuos de las cosechas en piensos de calidad: estos residuos contienen casi tanta energía como los cultivos, pero constituyen un mal pienso porque los animales no los digieren bien. Existen métodos con tecnología sencilla que pueden hacerlos más digeribles para el ganado, pero su adopción ha sido muy escasa. También existen métodos de alta tecnología, pero aún son demasiado caros. Las mismas opciones de pretratamiento que se utilizan para transformar los residuos en etanol podrían convertir los residuos en un pienso de mayor calidad de manera más barata. Estos mismos métodos también podrían permitir a los agricultores cambiar los cultivos anuales por pastos perennes, cuyo rendimiento es potencialmente superior y generan menos emisiones.
- Hacer que el estiércol sea valioso: existen métodos para separar los sólidos, el agua y los nutrientes que hay en el estiércol, lo que permite aprovechar todos sus componentes. Alternativamente, los microbios pueden convertir el estiércol en un pienso de calidad.

Estas opciones no solo deberían reducir la producción de emisiones y otros tipos de contaminación, sino la superficie de tierras que necesitamos para la agricultura. El reto consiste en desarrollar estas tecnologías lo suficiente para que resulten rentables.

Un mercado incierto limita la inversión. Actualmente, en la agricultura emitir menos gases de efecto invernadero no se recompensa de ninguna manera, por lo que los agricultores no tienen motivos para hacerlo si eso les cuesta aunque solo sea un céntimo más. Los Gobiernos podrían fomentar la inversión si prometieran exigir o subvencionar innovaciones que consigan reducir los gases de efecto invernadero, entre ellas el ahorro en el uso de la tierra, si estas reducen los costes a un nivel razonable.

39 Subbarao and Searchinger (2021), Subbarao *et al.* (2021)

Una hoja de ruta para actuaciones futuras

La naturaleza limitada de la tierra, y la competencia que esto genera, son un reto fundamental de nuestro tiempo. Resolverlo es tan crucial para la biodiversidad como para el carbono⁴⁰. Dirigir la inversión privada por el camino adecuado es fundamental. Por desgracia, debido a una comprensión limitada y una contabilidad errónea, muchas veces se subestima el reto y se fomentan inversiones que pueden agravar los problemas. Para abordar estos retos, los inversores deben promover una reforma contable que refleje el coste de oportunidad del carbono de la tierra, y fomentar políticas que se comprometan a exigir o subvencionar nuevas tecnologías que acrediten maneras rentables de reducir las emisiones. Tienen que invertir tanto en alternativas a la carne de vacuno como en mejoras que aumenten la eficiencia de la producción de carne de vacuno. Los inversores deben prestar atención a África. Y tienen que invertir en innovaciones tecnológicas audaces que puedan reducir las emisiones del proceso de producción y hacer que la tierra y su uso sean más eficientes.

Un experimento mental puede orientarnos sobre cómo deberíamos valorar la tierra. ¿Qué pasaría si existiera un precio global perfecto del carbono, uno que los economistas pudieran demostrar que, en teoría, iba a generar las soluciones más eficientes ante el cambio climático? En un mundo así, cualquiera que desbrozara una hectárea de tierra pagaría ese precio del carbono, y a cualquiera que reforestara tierras se le pagaría. Aunque el precio del carbono fuera de solo 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono, la tala de bosques exigiría pagos de alrededor de 40.000 dólares, y la reforestación de tierras de pastoreo pobres en América Latina podría recibir un pago de 1.500 dólares anuales por hectárea. Así, la tierra resultaría muy valiosa para almacenar carbono, por lo que el incentivo para utilizar menos tierras y producir más alimentos en la misma tierra sería importante. La gente y las empresas también tendrían incentivos para evitar productos que supusieran un uso ineficiente de la tierra, por ejemplo los biocombustibles y la carne de vacuno. Los inversores, los científicos y los Gobiernos se preocuparían mucho más de ayudar a los agricultores a aumentar su productividad.

Aunque hay motivos prácticos y políticos que impiden esta fijación de precios global, el experimento mental revela la manera en que el mundo debería tratar la tierra si quiere solucionar el cambio climático. La tierra no es gratis. Debe tenerse en cuenta el "coste de oportunidad del carbono" de la tierra a la hora de tomar decisiones sobre el uso de la tierra, incluidas las de los inversores. La tierra es un recurso valioso y limitado que el mundo tiene que utilizar de manera más eficiente, tanto para proporcionar alimentos como para proteger la naturaleza.

40 Balmford *et al.* (2023)

Referencias

- Aide, T. M., Clark, M. L., Grau, H. R., López-Carr, D., Levy, M. A., Redo, D., Bonilla-Moheno, M., Riner, G., Andrade-Núñez, M. J. y Muñiz, M. (2013). "Deforestation and Reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010)". *Biotropica* 45 (2): 262-71. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x>
- Aubert, P., Schoob, M. H. y Poux, X. (2019). "Agroecology and Carbon Neutrality in Europe by 2050: What Are the Issues? Findings from the TYFA Modelling Exercise". Study n.º 2. IDDRI.
- Balmford, A., Brancalion, P. H. S., Coomes, D., Filewod, B., Groom, B., Guizar-Coutiño, A., Jones, J. P. G. et al. (2023). "Credit Credibility Threatens Forests". *Science* 380 (6644): 466-67. <https://doi.org/10.1126/science.adh3426>.
- Bastin, J., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M. Y Crowther, T. W. (2019). "The Global Tree Restoration Potential". *Science* 365 (6448): 76-79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>.
- Chapman, M., Walker, W. S., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Farina, M., Griscom, B. W. y Baccini, A. (2020). "Large Climate Mitigation Potential from Adding Trees to Agricultural Lands". *Global Change Biology* 26 (8): 4357-65. <https://doi.org/10.1111/gcb.15121>.
- Evans, S. G., Ramage, B. S., DiRocco, T. L. y Potts, M. D. (2015). "Greenhouse Gas Mitigation on Marginal Land: A Quantitative Review of the Relative Benefits of Forest Recovery versus Biofuel Production". *Environmental Science & Technology* 49 (4): 2503-11. <https://doi.org/10.1021/es502374f>
- Fuchs, R., Brown, C. y Rounsevell, M. (2020). "Europe's Green Deal Offshores Environmental Damage to Other Nations". *Nature* 586 (7831): 671-73. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02991-1>.
- Gibbs, H. K., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D. C., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol, L. y Walker, N. F. (2015). "Brazil's Soy Moratorium". *Science* 347 (6220): 377-78. <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>
- Griscom, B. W. (2017). "Natural Climate Solutions". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (44): 11645-50.
- IPBES (2019). "Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services". IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- Jackson, R. (2015). "A Credible Commitment: Reducing Deforestation in the Brazilian Amazon, 2003-2012". *Innovations for Successful Societies*, Universidad de Princeton.
- Johnson, J. A., Runge, C. F., Senauer, B., Foley, J. y Polasky, S. (2014). "Global Agriculture and Carbon Trade-Offs". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (34): 12342-47. <https://doi.org/10.1073/pnas.1412835111>

References

- Kaplan, S. (2021). "A Recipe for Fighting Climate Change and Feeding the World". The Washington Post. 12 de octubre de 2021. <https://www.washingtonpost.com/climate-solutions/interactive/2021/bread-baking-sustainable-grain-kernza/>
- Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'Connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., Venter, O. et al. (2014). "A Global Strategy for Road Building". *Nature* 513 (7517): 229-32. <https://doi.org/10.1038/nature13717>
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S. y Wood, R. (2019). "Agricultural and Forestry Trade Drives Large Share of Tropical Deforestation Emissions". *Global Environmental Change* 56 (mayo): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>
- Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M. C., Tyukavina, A., Zalles, V., Khan, A., Song, X., Pickens, A., Shen, Q. y Cortez, J. (2021). "Global Maps of Cropland Extent and Change Show Accelerated Cropland Expansion in the Twenty-First Century". *Nature Food*, diciembre, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00429-z>
- Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daioglou, V., Deppermann, A. et al. (2021). "Land-Based Measures to Mitigate Climate Change: Potential and Feasibility by Country". *Global Change Biology* 27 (23): 6025-58. <https://doi.org/10.1111/gcb.15873>
- Rogelj, J. D., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C. et al. (2018). "Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development". En *Global Warming of 1.5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. IPCC.
- Sanderson, B. M., O'Neill, B. C. y Tebaldi, C. (2016). "What Would It Take to Achieve the Paris Temperature Targets?". *Geophysical Research Letters* 43 (13): 7133-42. <https://doi.org/10.1002/2016GL069563>.
- Schmitz, C., Meijl, H., Kyle, P., Nelson, G. C., Fujimori, S., Gurgel, A., Havlik, P. et al. (2014). "Land-Use Change Trajectories up to 2050: Insights from a Global Agro-Economic Model Comparison". *Agricultural Economics* 45 (1): 69-84. <https://doi.org/10.1111/agec.12090>
- Searchinger, T. D., Beringer, T. y Strong, A. (2017). "Does the World Have Bioenergy Potential from the Dedicated Use of Land?". *Energy Policy* 110: 434-46.
- Searchinger, T. D., Edwards, R., Mulligan, D., Heimlich, R. y Plevin, R. (2015). "Do Biofuel Policies Seek to Cut Emissions by Cutting Food?". *Science* 347 (6229): 1420-22. <https://doi.org/10.1126/science.1261221>

References

- Searchinger, T. D., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J. y Matthews, E. (2019). "Creating a Sustainable Food Future". Washington D. C.: World Resources Institute. <https://www.wri.org/research/creating-sustainable-food-future>
- Searchinger, T. D., Wirsenius, S., Beringer, T. y Dumas, P. (2018). "Assessing the Efficiency of Changes in Land Use for Mitigating Climate Change". *Nature* 564 (7735): 249. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0757-z>
- Searchinger, T. D., James, O., Dumas, P., Kastner, T. y Wirsenius, S. (2022). "EU Climate Plan Sacrifices Carbon Storage and Biodiversity for Bioenergy". *Nature* 612 (7938): 27-30. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-04133-1>
- Searchinger, T. D., Waite, R., Hanson, C. y Ranganathan, J. (2019). "Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050". World Resources Institute, Banco Mundial, PNUD, PNUMA. [sustainablefoodfuture.org](https://www.sustainablefoodfuture.org).
- Searchinger, T., Peng, L., Zions, J., & Waite, R. (2023). *The Global Land Squeeze: Managing the Growing Competition for Land*. World Resources Institute. <https://doi.org/10.46830/wriipt.20.00042>
- Stanley, P. L., Rowntree, J. E., Beede, D. K., DeLonge, M. S. y Hamm, M. W. (2018). "Impacts of Soil Carbon Sequestration on Life Cycle Greenhouse Gas Emissions in Midwestern USA Beef Finishing Systems". *Agricultural Systems* 162 (mayo): 249-58. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.003>
- Strassburg, B. N., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., da Silva, V. P., Valentim, J. F., Vianna, M. y Assad, E. D. (2014). "When Enough Should Be Enough: Improving the Use of Current Agricultural Lands Could Meet Production Demands and Spare Natural Habitats in Brazil". *Global Environmental Change* 28 (septiembre): 84-97. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>
- Subbarao, G. V. y Timothy D. Searchinger. 2021. "Opinion: A 'More Ammonium Solution' to Mitigate Nitrogen Pollution and Boost Crop Yields". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 (22). <https://doi.org/10.1073/pnas.2107576118>
- Subbarao, G. V., Kishii, M., Bozal-Leorri, A., Ortiz-Monasterio, I., Gao, X., Ibba, M. I., Karwat, H., et al. (2021). "Enlisting Wild Grass Genes to Combat Nitrification in Wheat Farming: A Nature-Based Solution". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 (35): e2106595118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2106595118>
- Thorbecke, M. y Dettling, J. (2019). "Carbon Footprint Evaluation of Regenerative Grazing at White Oak Pastures: Results Presentation". Quantis.
- UK Committee on Climate Change. (2020). "The Sixth Carbon Budget: The UK's Path to Net Zero". UK Committee on Climate Change.
- Weisse, M. y Goldman, E. D. (2021). "Just 7 Commodities Replaced an Area of Forest Twice the Size of Germany Between 2001 and 2015". <https://www.wri.org/insights/just-7-commodities-replaced-area-forest-twice-size-germany-between-2001-and-2015>.

esade

Santander X Innovation
Xperts

www.santander.com/santander-x-innovation-xperts-es

By  Santander