



Riesgos climáticos para nueve materias primas clave

Proteger a las personas y a la prosperidad.

Tabla de contenidos

Resumen ejecutivo	3
Cómo amenaza el cambio climático a nueve materias primas de las que dependemos	7
Próximos pasos: Cómo pueden manejar las empresas los riesgos climáticos	23
Apéndice 1: Diseño de la investigación	41
Apéndice 2: Concentración geográfica de la producción de materias primas	48
Apéndice 3: Metodología de modelización climática	53
Apéndice 4: Metodología de exposición a materias primas críticas	56
Notas finales	61
Agradecimientos	63



Resumen ejecutivo

“El cambio climático ya está fracturando la estabilidad del mundo natural, y fracturará cada vez más la estabilidad de las cadenas de suministro mundiales a menos que se tomen medidas de adaptación”.

Will Jackson-Moore, Líder Global de Sostenibilidad, PwC UK

El cambio climático supone una amenaza grave y creciente para la capacidad mundial de producir materias primas esenciales. Incluso en el mejor de los casos, cuando el mundo consiga frenar el ritmo de las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático hará que las condiciones meteorológicas extremas se produzcan con mucha mayor frecuencia y gravedad. Estas condiciones, a su vez, causan dificultades a los mineros y agricultores que suministran las materias primas de las que dependen las industrias y las comunidades. A menos que los productores y compradores de materias primas tomen medidas preventivas ahora, es probable que sus operaciones se vean cada vez más perturbadas.

“Esta investigación fundamenta los riesgos climáticos a los que se enfrentan las empresas. Las empresas deben prepararse para una realidad climática en la que la producción y las cadenas de suministro, incluidas las de materias primas esenciales, estarán cada vez más expuestas a importantes perturbaciones”.

Gim Huay Neo, director general del Centro para la Naturaleza y el Clima, Foro Económico Mundial.

Para llegar a estas conclusiones, primero localizamos las minas y explotaciones de todo el mundo que producen nueve materias primas importantes:

- **Tres metales vitales** ampliamente utilizados en la industria manufacturera, el transporte, las infraestructuras y otros sectores: hierro, zinc y aluminio (fabricado a partir de bauxita).
- **Tres minerales esenciales** para la electrónica y las tecnologías de energía limpia: cobalto, cobre y litio.
- **Tres cultivos alimentarios** que juntos aportan el 42% de las calorías que consume la población: maíz, arroz y trigo.¹

A continuación, identificamos dos peligros meteorológicos relacionados con el clima -la sequía y el estrés térmico- de los que se sabe que pueden ser perjudiciales para la producción en minas y explotaciones agrícolas, a menos que se tomen medidas de adaptación. El estrés térmico puede dificultar o incluso poner en peligro la vida de los trabajadores. La sequía puede diezmar los cultivos y perjudicar a la minería, que puede depender en gran medida del agua (por ejemplo, se necesitan más de dos millones de litros de agua para extraer una tonelada de litio).

Por último, analizamos la exposición de estas minas y explotaciones a la sequía y el estrés térmico relacionados con el clima, tanto en la situación actual como en dos años futuros: 2035 y 2050. Para 2050, examinamos cómo varía la exposición al riesgo en función de la eficacia con la que el mundo reduzca sus emisiones de carbono, comparando escenarios de emisiones bajas frente a escenarios de emisiones altas². Esto nos permitió extraer conclusiones sobre la cantidad de capacidad de producción actual de cada materia prima que podría estar expuesta a perturbaciones provocadas por el clima en los próximos años.

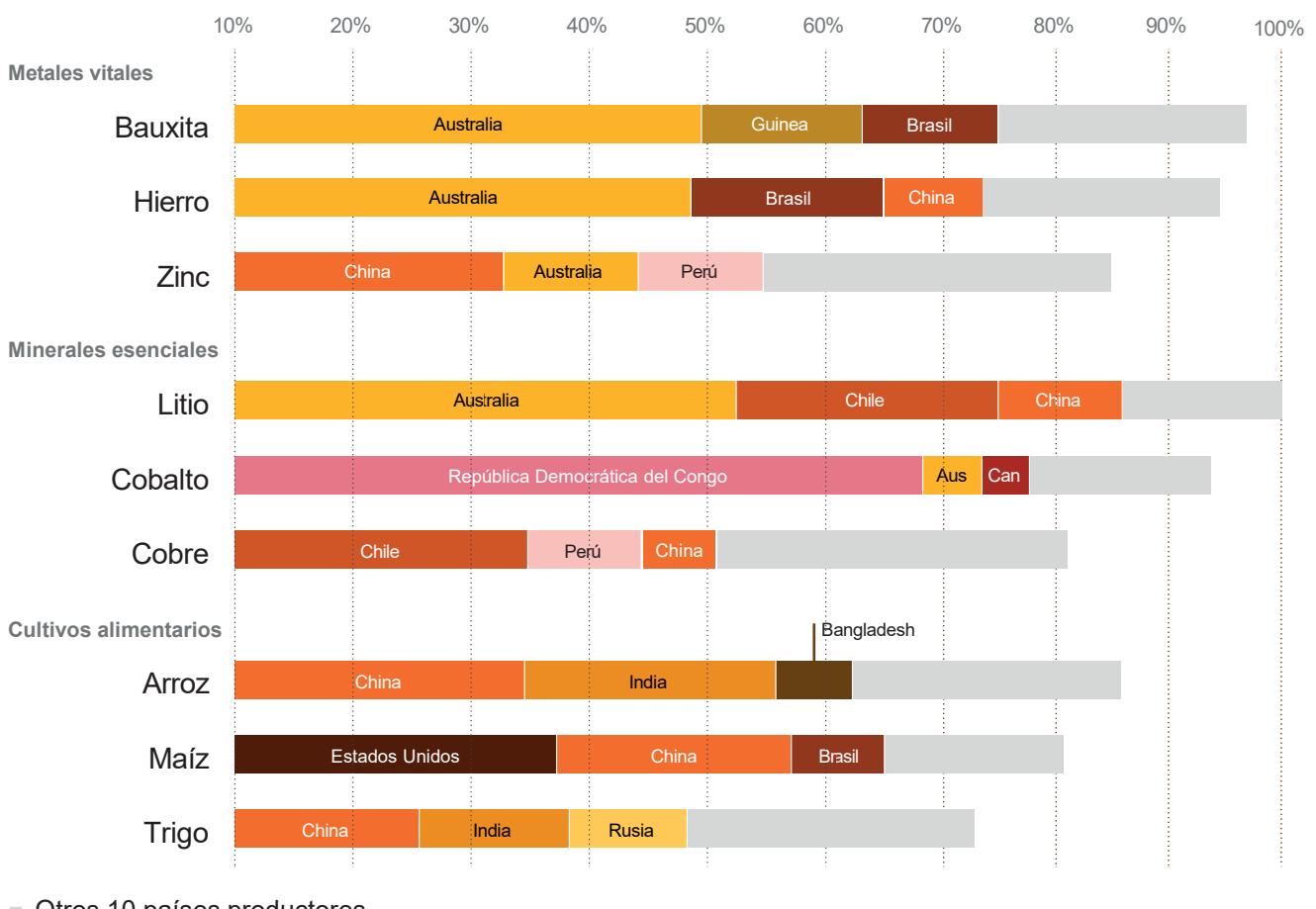
Encontramos que:

El mundo depende de unos pocos países para producir cada una de las nueve materias primas clave. Para cada materia prima, al menos el 40% de su suministro mundial se produce en un conjunto distinto de no más de tres países. La concentración es especialmente pronunciada en el caso del litio, el cobalto, el hierro y la bauxita, con más del 70% del suministro mundial procedente de no más de tres países por materia prima. Dentro de los países, la producción se concentra aún más. Por ejemplo, más de la mitad del cobalto mundial procede de sólo cinco minas de la República Democrática del Congo. Esta concentración geográfica puede aumentar los riesgos para el suministro mundial, ya que cuanto más concentradas estén las fuentes de una materia prima, mayor será el impacto que una interrupción en cualquier lugar podría tener en el suministro mundial.



La producción de cada materia prima esencial está altamente concentrada

Porcentaje de la producción mundial (2020)



■ Otros 10 países productores

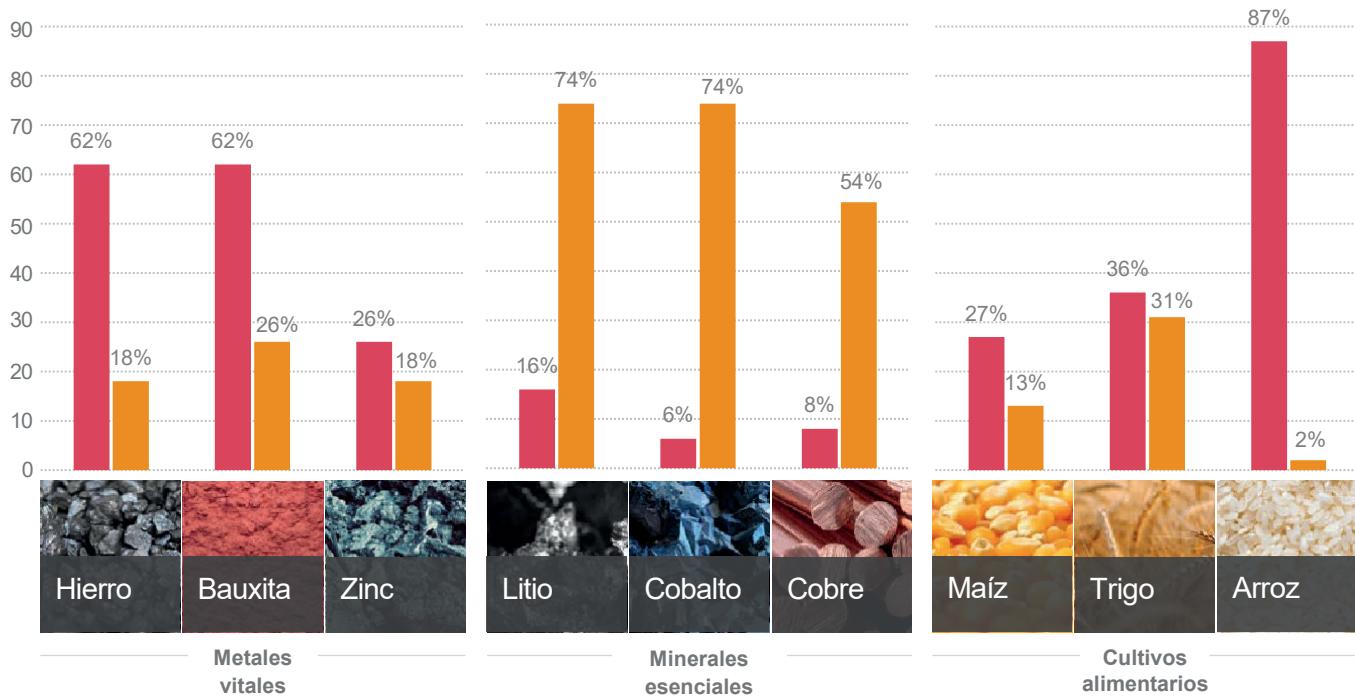
Fuente: CapiQ, FAO, análisis PwC



A menos que se adopten medidas de adaptación o se traslade la producción a otro lugar, es probable que cada vez más capacidad mundial de producción de materias primas esenciales se vea expuesta a perturbaciones provocadas por el clima, incluso en un escenario optimista de emisiones bajas. El siguiente gráfico muestra los niveles de exposición al riesgo en un escenario de emisiones bajas.

Materias primas en riesgo

Escenario de emisiones bajas, año 2050



■ % de la capacidad de producción expuesta a un riesgo de estrés térmico significativo, alto o extremo.
 ■ % de la capacidad de producción expuesta a un riesgo de sequía significativa, alto o extremo.

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk.

En algunos casos, los riesgos están aumentando bruscamente desde niveles bajos, lo que subraya la necesidad de permitir a los productores de materias primas estar preparados para afrontar riesgos crecientes que, en algunos casos, pueden tener poca experiencia en controlar.

No podemos dar por sentado que las futuras reducciones de emisiones nos protegerán de un clima cambiante. Incluso en un escenario optimista de emisiones bajas, los riesgos de estrés térmico y sequía aumentarán significativamente en 2050, lo que pone de relieve la importancia de adaptarse a un clima cambiante mientras nos esforzamos por reducir las emisiones de carbono.

Los productores y consumidores de materias primas deben empezar a prepararse para el creciente riesgo de perturbaciones. Ofrecemos tres pasos para ayudar a adaptarse a un clima cambiante. En primer lugar, mejorar la resistencia identificando y gestionando los riesgos climáticos en toda la cadena de suministro. A continuación, aprovechar las oportunidades para ofrecer productos, servicios o modelos de negocio que ayuden a las empresas y a las comunidades a adaptarse. Por último, unir fuerzas con los *stakeholders*, desde los gobiernos a las comunidades, para dar forma a los resultados colaborativos y mejorar la adaptación a nivel político y sistémico. Ofrecemos ejemplos y estudios de casos para cada paso.

Cómo el cambio climático amenaza nueve materias primas de las que dependemos



La economía mundial -y los habitantes del planeta- dependen de materias primas esenciales como el hierro, el arroz y el trigo. A medida que el cambio climático golpea con más fuerza, ¿afectará a nuestra capacidad de producir las materias primas que necesitamos? Nos hemos propuesto encontrar respuestas.

Identificamos nueve materias primas esenciales

En primer lugar, hemos identificado nueve materias primas esenciales para la economía mundial³.

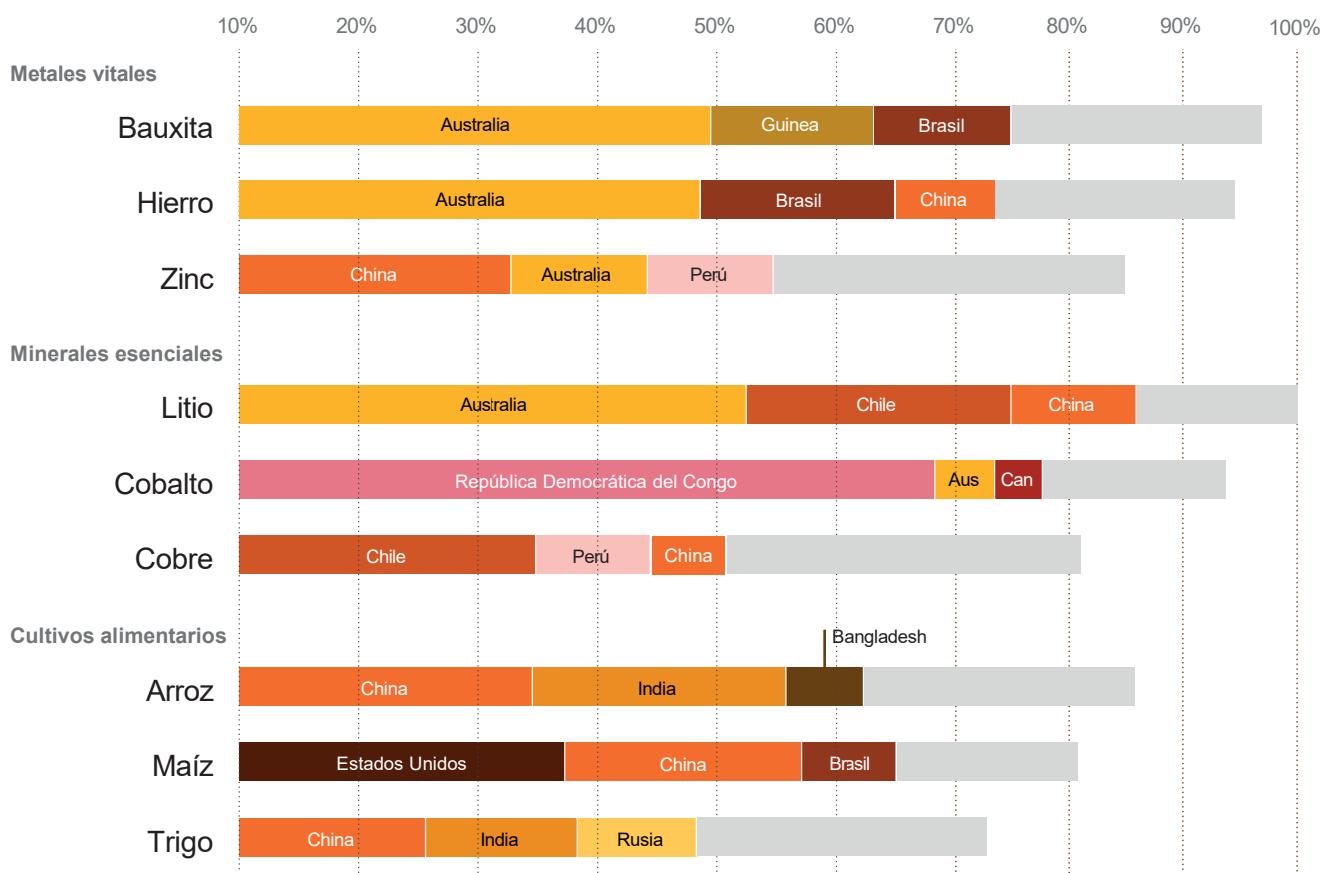
- **Tres metales vitales** ampliamente utilizados en la fabricación, el transporte, las infraestructuras y más: **hierro, aluminio y zinc**.
- **Tres minerales esenciales** para la electrónica y las tecnologías de energía limpia: **cobalto, cobre y litio**.
- **Tres cultivos alimentarios** que juntos representan el 42% de las calorías que consume la población: **maíz, arroz y trigo**.⁴

Localizamos las minas y explotaciones que producen estas materias primas y descubrimos que están concentradas geográficamente, lo que aumenta potencialmente el riesgo de disruptión

Sólo un puñado de países, y a menudo regiones concretas dentro de un mismo país, concentran gran parte del suministro mundial de cada materia prima. En 2020, al menos el 40% -y hasta el 85%- del suministro mundial de cada materia prima se produjo en solo tres países por materia prima.

La producción de cada materia prima esencial está altamente concentrada

Porcentaje de la producción mundial (2020)



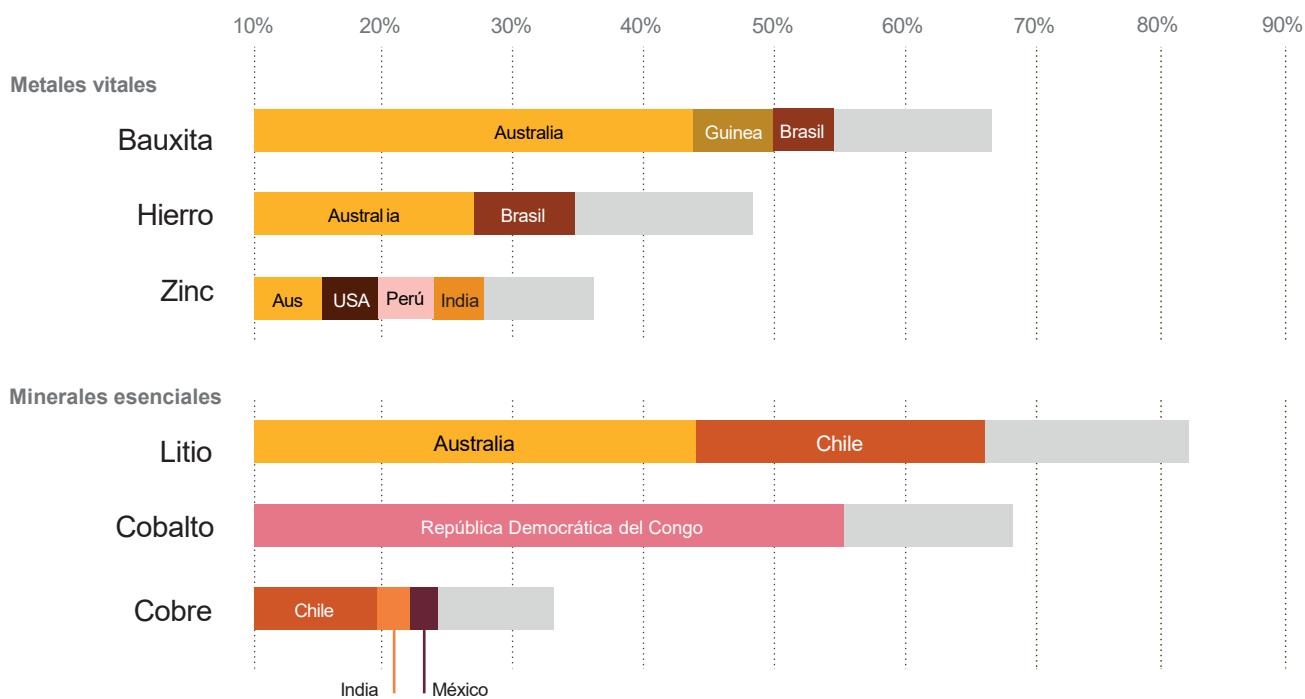
■ Otros 10 países productores

Fuente: CapiQ, FAO, análisis PwC

La producción de materias primas no sólo se concentra en un pequeño número de países. También se concentra en un conjunto limitado de lugares dentro de esos países. Un puñado de minas produce la mayor parte de los metales y minerales del mundo, y unas pocas regiones producen la mayoría de los principales cultivos del planeta. Por ejemplo, en 2020, sólo cinco minas (todas en la República Democrática del Congo) producían la mayor parte del cobalto mundial. En total, el 81% del litio mundial, el 50% de la bauxita y el 44% del hierro procedían cada uno de no más de 10 minas.

La producción mundial de los seis metales y minerales está altamente concentrada en unas pocas minas

Cada bloque representa una de las 10 minas más importantes de esa materia prima.



Fuente: PwC People and Prosperity at Risk.

La producción de cultivos clave también se concentra dentro de los países. Por ejemplo, en EE.UU., el mayor productor mundial de maíz, la producción se concentra en sólo cinco estados.⁵

Estas concentraciones geográficas **podrían aumentar los riesgos para el suministro mundial** porque, al haber menos lugares que suministren cada materia prima, una interrupción en un solo lugar podría tener un impacto más significativo en el abastecimiento a nivel global.

Examinamos cómo la sequía y el calor provocados por el clima afectarán a las zonas donde se encuentran las minas y granjas de nuestro análisis

A continuación, tratamos de determinar cómo podría afectar el cambio climático a la producción de las materias primas esenciales en las minas y granjas que hemos identificado. El cambio climático puede tener muchas repercusiones, desde incendios forestales hasta ciclones. Nos centramos en dos impactos del cambio climático que son bien conocidos por perturbar potencialmente la productividad de las minas y explotaciones, a menos que se tomen medidas de adaptación. Hay muchos otros riesgos del cambio climático que podrían afectar a la minería y la agricultura, pero la sequía y el estrés térmico merecen una atención especial porque pueden ser especialmente perjudiciales, como se explica a continuación.

Sequía. La sequía⁶ representa un riesgo importante tanto para la minería como para la agricultura. En la minería, la falta de agua socava las operaciones que requieren un uso intensivo de agua, como la extracción de mineral, el procesamiento de minerales y el control del polvo. En la agricultura -la industria más sedienta del mundo, con un 70% del consumo mundial de agua dulce en 2022⁷ - la sequía puede reducir el rendimiento de los cultivos. El agua es especialmente importante en el cultivo de arroz, trigo y maíz.⁸

Utilizamos un índice de sequía estándar⁹ para definir tres niveles de riesgo de sequía:

Categoría de riesgo	Niveles de riesgo / Duración de la sequía grave
Significativo	20% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía
Alto	40% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía
Extremo	80% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía

Nota: El término significativo, tal y como lo utilizamos aquí, no tiene relación con las pruebas de significación estadística.

Estrés térmico. Tanto en la minería como en la agricultura, la productividad disminuye cuando aumenta el estrés térmico, lo que refleja el hecho de que los mineros y los trabajadores agrícolas suelen pasar muchas horas al aire libre expuestos directamente a los efectos del calor y la humedad. (Definimos el estrés térmico en términos de Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo (TGBH)], una medida que capta tanto el calor como la humedad. Para más detalles, véase el apéndice). Un cambio relativamente pequeño en la temperatura puede tener un gran impacto en la productividad.

Definimos tres niveles de riesgo de estrés térmico y sus repercusiones en la productividad laboral¹⁰:

Categoría de riesgo	Niveles de riesgo / Duración	Impacto
Significativo	Al menos 10 días al año con una TGBH promedio diaria de 26,3°C. El total de días con TGBH a este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral en al menos un 25%.
Alto	Al menos 10 días al año con una temperatura media diaria de 28,9°C. El total de días con TGBH a este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral al menos un 50%.
Extremo	Cada año, uno o más días con una temperatura media diaria de 32,2°C. El total de días con TGBH en este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral en al menos un 75% y es peligroso para los trabajadores al aire libre.

Fuente del impacto en la productividad laboral: Centro de Resiliencia de la Fundación Rockefeller, "Calor extremo: Consecuencias económicas y sociales para EE.UU.", 2021

Modelizamos los riesgos de estrés térmico y sequía en tres períodos de tiempo diferentes: **una línea base de 2020** (un promedio de 2010 a 2030, centrado en 2020), y miramos hacia el futuro, hacia los años **2035 y 2050**. (Nota: A lo largo de este informe, utilizaremos "ahora" u "hoy" como abreviatura para referirnos al periodo de referencia actual).

Además, para el año 2050, comparamos dos escenarios diferentes sobre cómo podrían desarrollarse los esfuerzos mundiales a largo plazo para reducir las emisiones de carbono. Examinamos tanto un escenario de emisiones bajas como uno de emisiones altas, según la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, su sigla en inglés):

- **Un escenario de emisiones bajas** para 2050 en el que se tomen medidas sustanciales para frenar las emisiones, manteniendo el aumento de la temperatura media global por debajo de 2C. Incluso en este escenario, es probable que se produzca un aumento sustancial de la proporción de algunas materias primas esenciales afectadas por el estrés térmico y la sequía. (SSP1-2.6).
- **Un escenario de emisiones altas** para 2050 en el que no se adopten medidas para seguir una senda de emisiones bajas, lo que provocaría un aumento catastrófico de la temperatura media mundial de 4,4C para 2100. (SSP5-8.5)

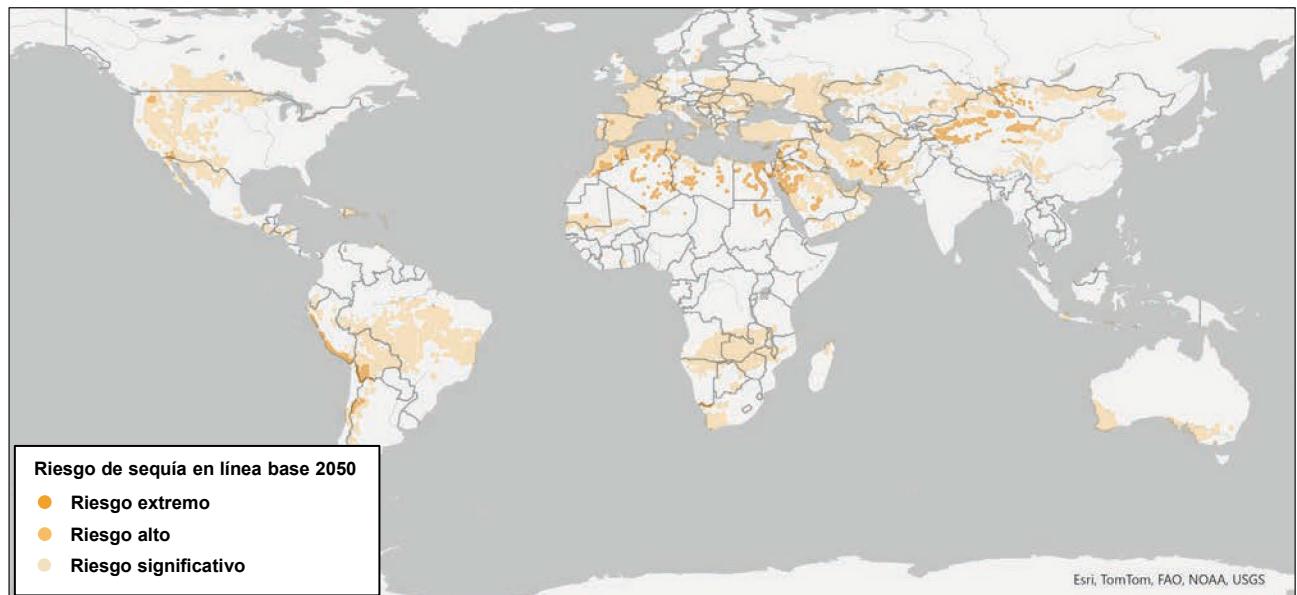
Detectamos niveles crecientes de riesgo de sequía y calor en todo el mundo

Se prevé que la proporción de la superficie terrestre expuesta a un riesgo significativo, alto o extremo de sequía aumente bruscamente tanto en escenarios de emisiones altas como bajas, afectando en mayor o menor medida a todos los continentes habitados

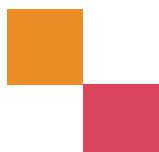
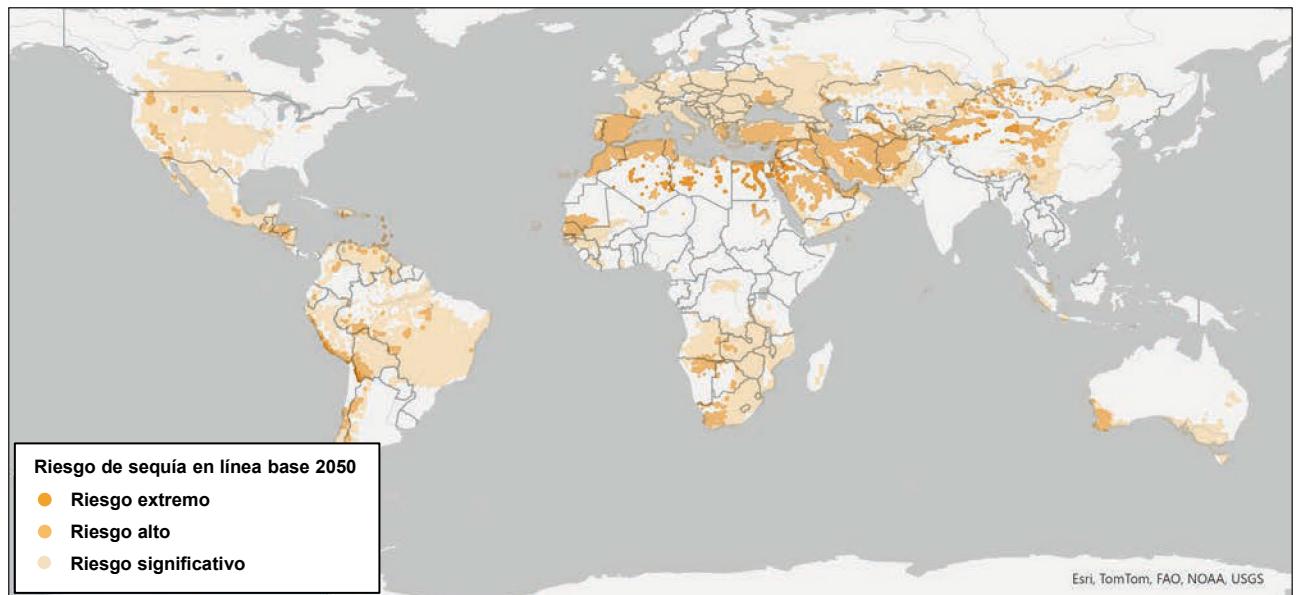
Modelo mundial de riesgo de sequía: Línea base 2020



Modelo mundial del riesgo de sequía: Emisiones bajas 2050

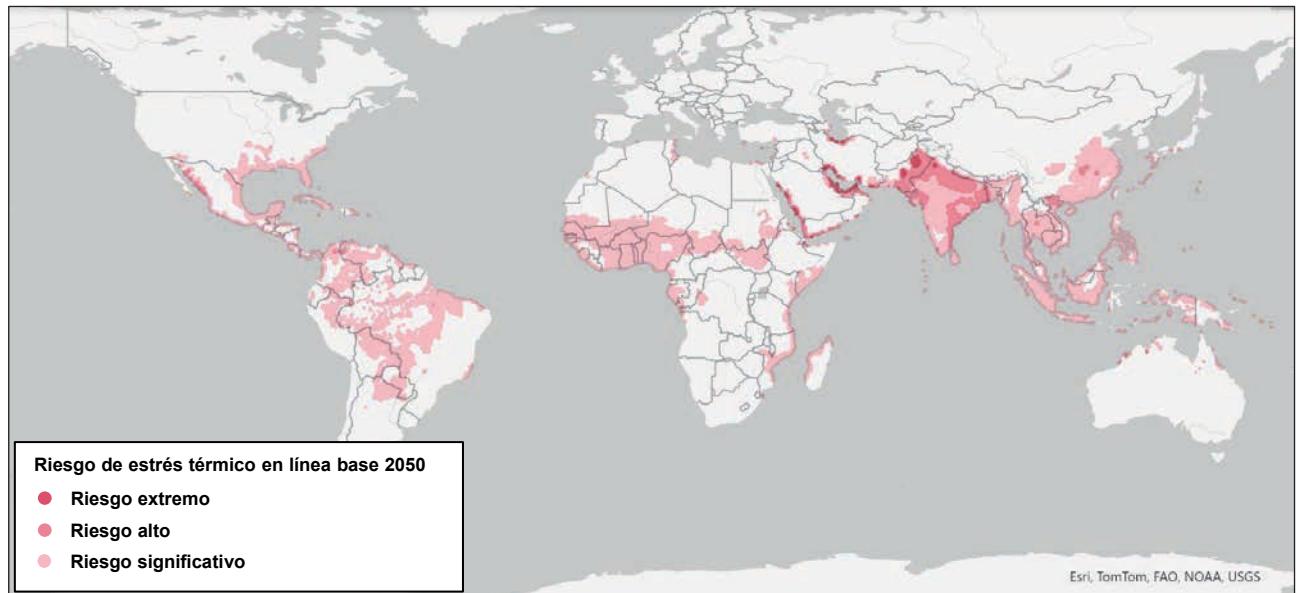


Modelo mundial del riesgo de sequía: Emisiones altas 2050

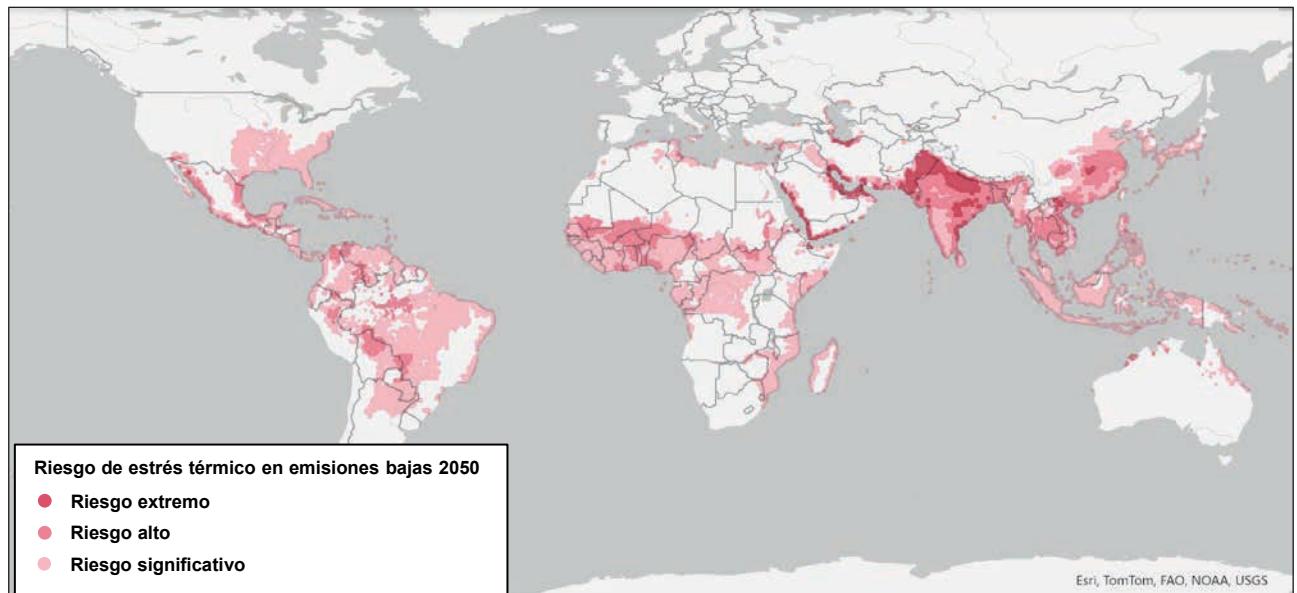


El estrés térmico también está aumentando. Nuestro análisis muestra que, tanto en escenarios de emisiones bajas como altas, se prevé que aumente la proporción de la superficie terrestre expuesta a un riesgo significativo, alto o extremo de estrés térmico, sobre todo en Norteamérica, Sudamérica, África y Asia.

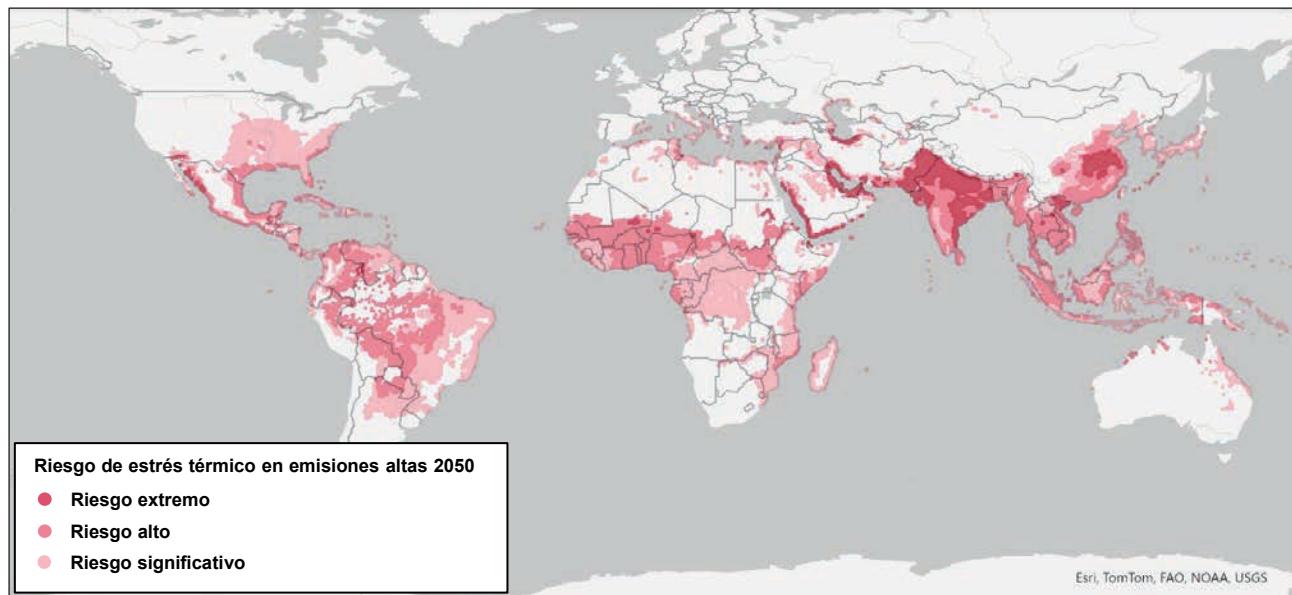
Modelo mundial del riesgo de estrés térmico: Línea base 2020



Modelo mundial del riesgo de estrés térmico: Emisiones bajas 2050



Modelo mundial del riesgo de estrés térmico: Emisiones altas 2050



Detectamos un aumento de los riesgos climáticos para los lugares que producen cada una de las nueve materias primas

A continuación, examinamos cómo el aumento de los riesgos de estrés térmico y sequía puede afectar a los lugares que producen las materias primas esenciales, a menos que se empleen medidas de adaptación.

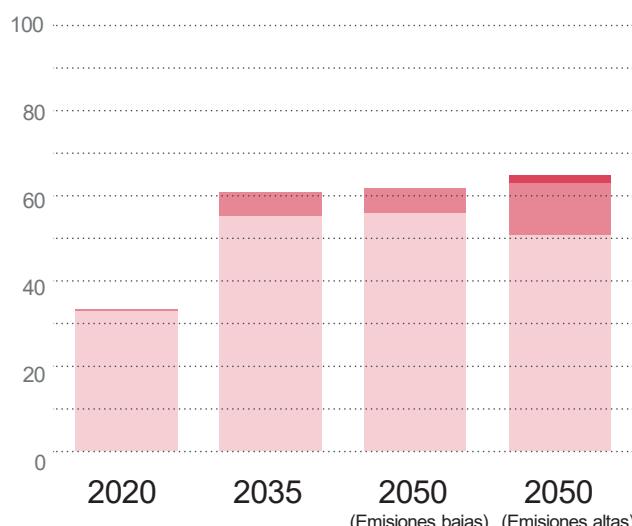
Metales vitales

Todos los metales vitales analizados se enfrentan a un riesgo cada vez mayor de estrés térmico y sequía. En la actualidad, la extracción de metales vitales depende de China, Brasil y Australia, países que se enfrentan a riesgos crecientes de sequía y estrés térmico. Nuestra investigación indica que más del 60% de la producción mundial de bauxita y hierro podría enfrentarse a un riesgo significativo o mayor de estrés térmico en 2050, incluso en un escenario de emisiones bajas, mientras que, en un escenario de emisiones altas en 2050, el 40% de la producción mundial de zinc podría enfrentarse a un riesgo significativo o mayor de sequía (frente al nulo riesgo significativo de sequía actual).



Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **hierro** expuesta al riesgo de estrés térmico

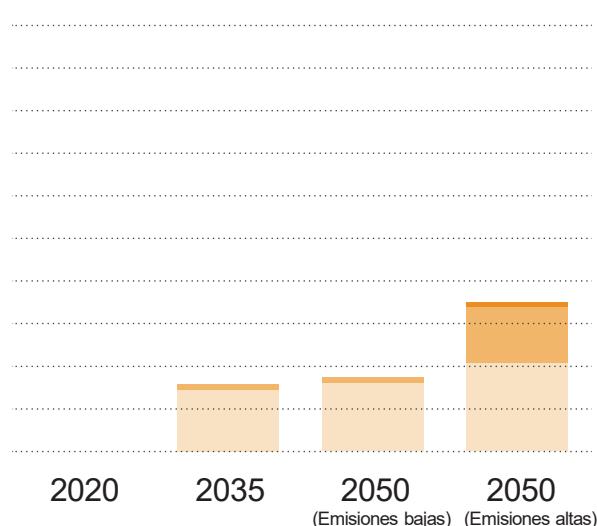


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **hierro** expuesta al riesgo de sequía.



■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

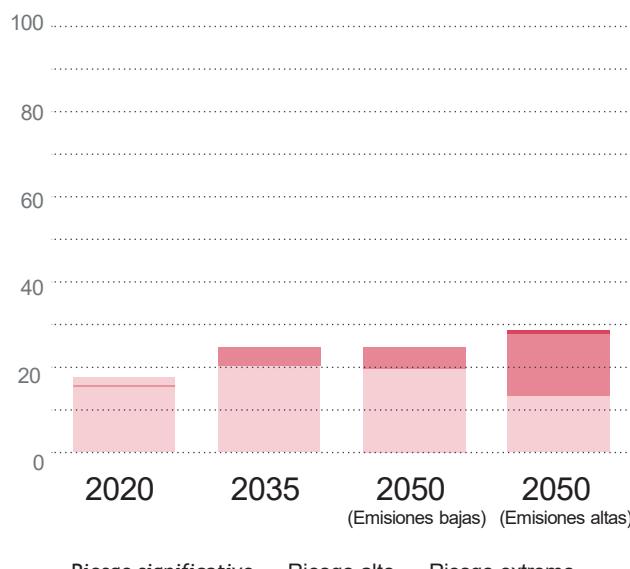
60%

de la producción mundial de bauxita y hierro podría enfrentarse a un riesgo significativo o mayor de estrés térmico en 2050, incluso en un escenario de emisiones bajas.



Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **zinc** expuesta al riesgo de estrés térmico.

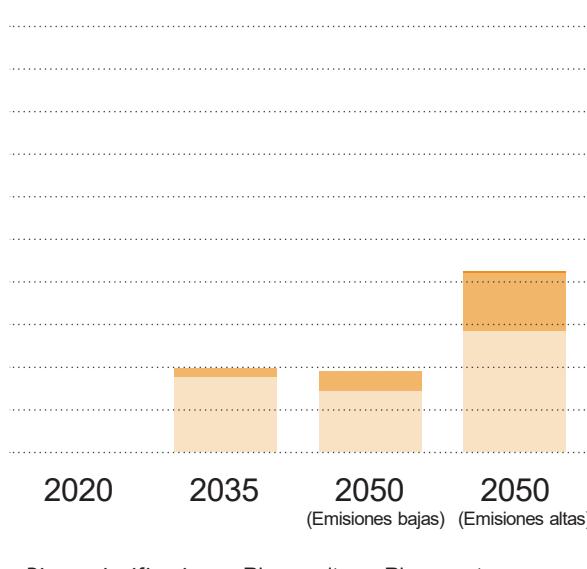


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **zinc** expuesta al riesgo de sequía.



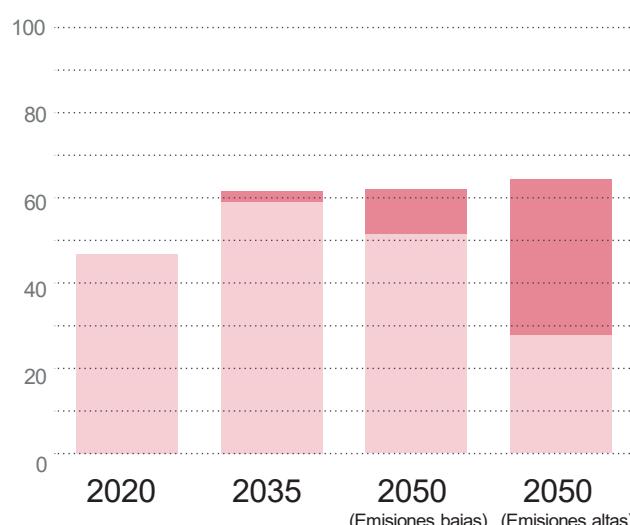
■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk



Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **bauxita** expuesta al riesgo de estrés térmico.

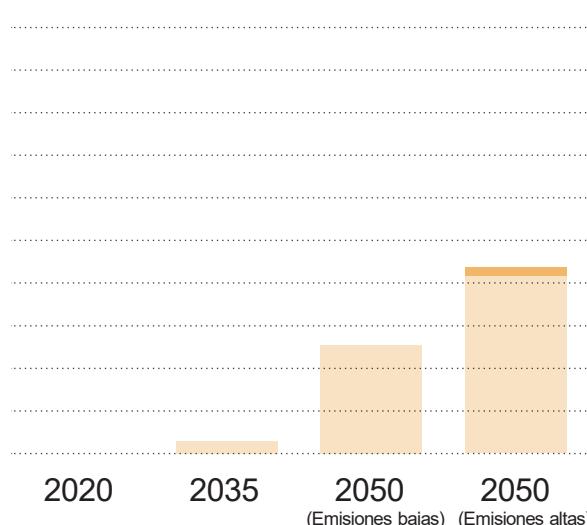


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **bauxita** expuesta al riesgo de sequía.



■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Minerales esenciales

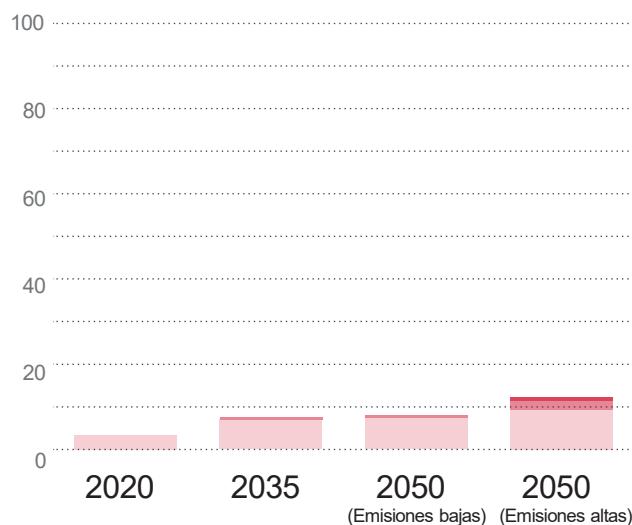
Nuestra investigación muestra que tanto el estrés térmico como la sequía pueden limitar el suministro de minerales críticos, y que la sequía supone un riesgo mucho mayor que el estrés térmico. La producción de minerales críticos depende en gran medida de Australia, la República Democrática del Congo, Chile y Perú, países todos ellos en los que aumentará el riesgo de sequía.

Para 2050, incluso si el mundo reduce significativamente sus emisiones de carbono, más del 70% de la producción de cobalto y litio podría enfrentarse a un riesgo de sequía significativo, alto o extremo, frente al casi cero actual. Esto podría plantear problemas para la extracción de litio, ya que depende en gran medida del agua y requiere más de dos millones de litros de agua para extraer una tonelada de litio. Del mismo modo, menos del 10% de la producción de cobre se enfrenta hoy a un riesgo de sequía significativo o mayor, que aumentaría a más de la mitad en un escenario de emisiones bajas para 2050. Es posible que los métodos que se utilizan actualmente para extraer minerales críticos en zonas áridas tengan que desplegarse de forma más generalizada, y puede que tengan que gestionar condiciones aún más duras.

Cobre

Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **cobre** expuesta al riesgo de estrés térmico.

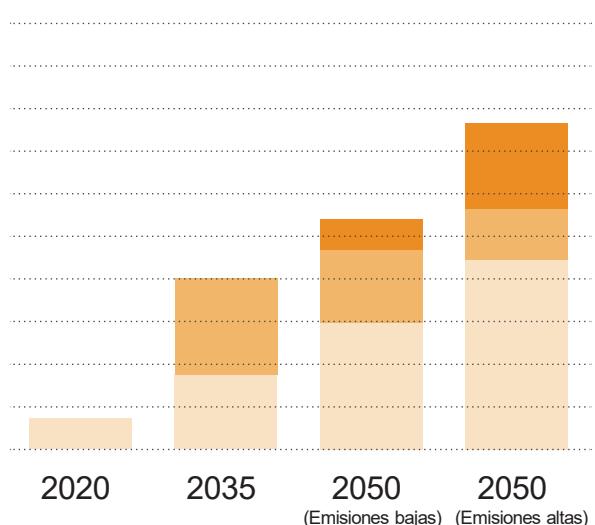


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **cobre** expuesta al riesgo de sequía.



■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

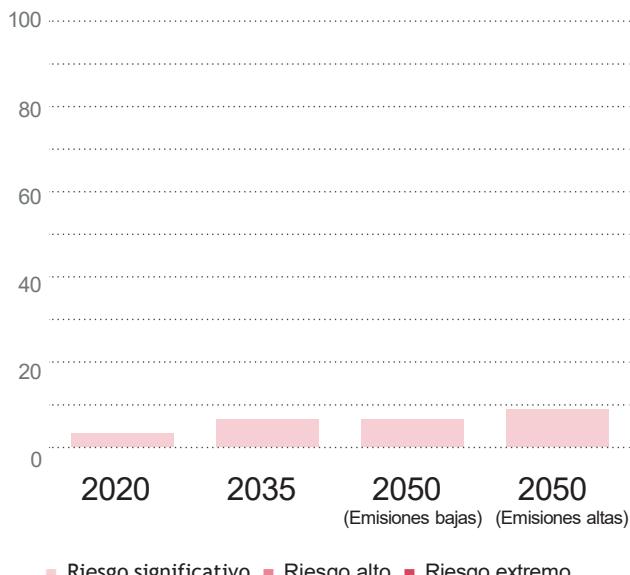
10%

de la producción de cobre se enfrenta hoy a un riesgo de sequía significativo o mayor, que aumentaría a más de la mitad en un escenario de bajas emisiones para 2050.

Cobalto

Estrés térmico

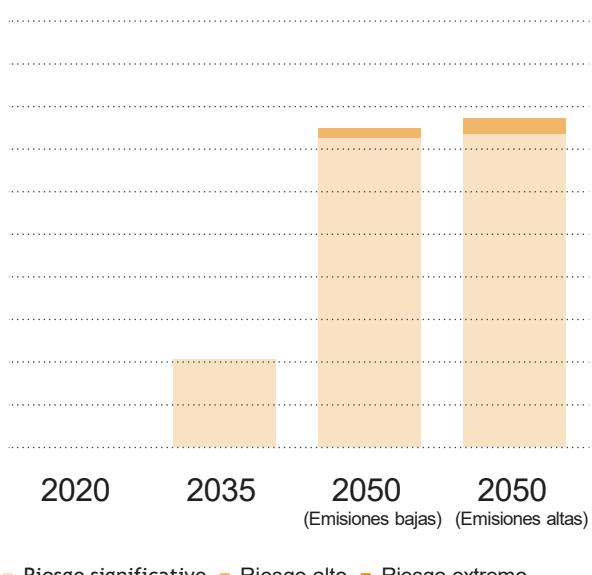
% de la capacidad de producción de **cobalto** expuesta al riesgo de estrés térmico.



Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **cobalto** expuesta al riesgo de sequía.

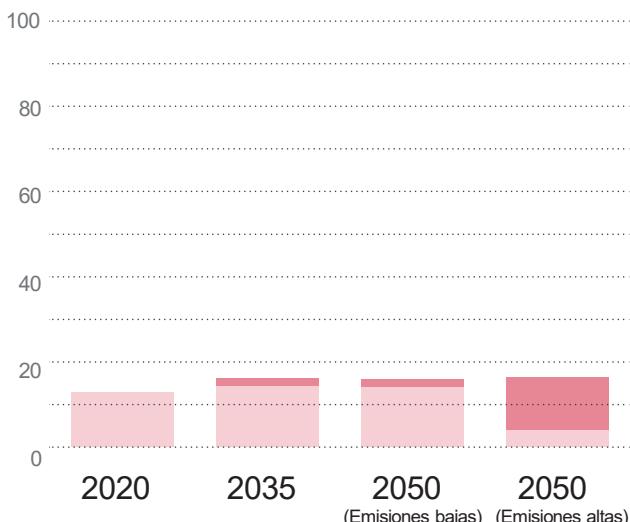


Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Litio

Estrés térmico

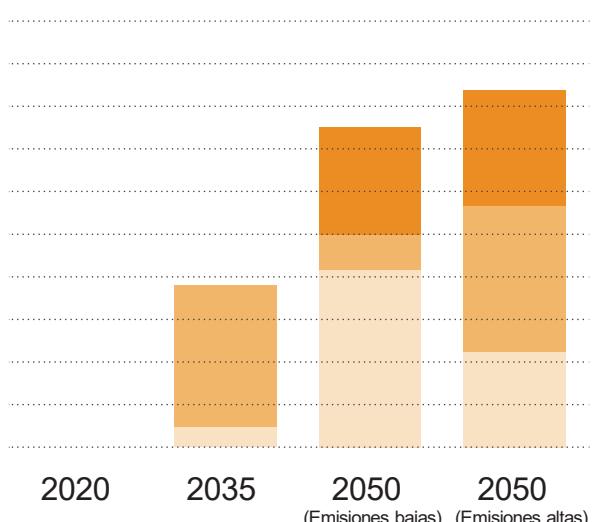
% de la capacidad de producción de **litio** expuesta al riesgo de estrés térmico.



Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **litio** expuesta al riesgo de estrés térmico.



Fuente: PwC People and Prosperity at Risk



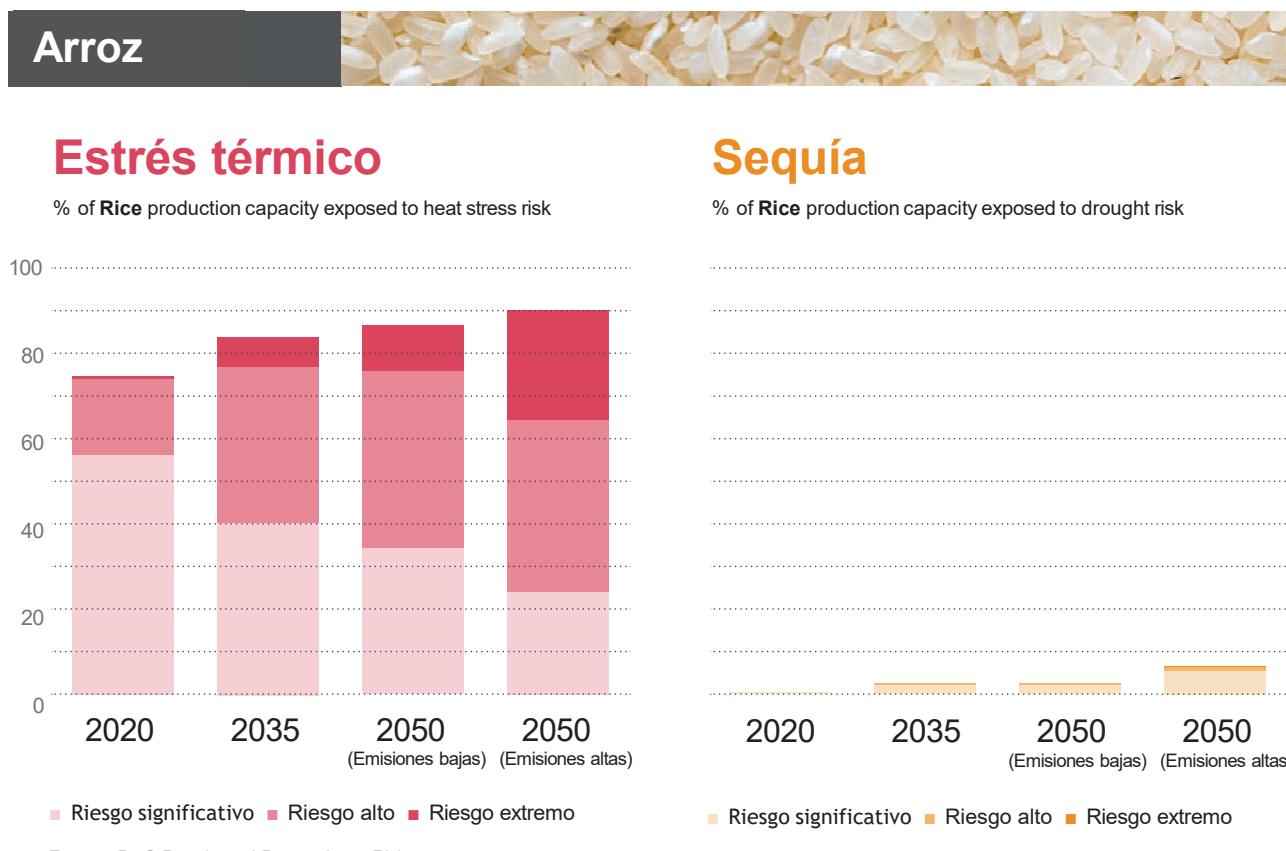
Cultivos clave

Los tres cultivos se enfrentan a riesgos crecientes de estrés térmico y sequía. El riesgo más extendido y grave es el del arroz, alrededor del 90% del cual se enfrentará a un riesgo significativo o mayor de estrés térmico de aquí a 2050 en un escenario de emisiones elevadas. Más del 90% del arroz se cultiva en el sudeste asiático, una región que experimentará un fuerte aumento del estrés térmico en los próximos años.

En la actualidad, más del 75% del arroz se cultiva en condiciones de riesgo significativo o mayor de estrés térmico, lo que demuestra que no es sólo el nivel de riesgo lo que importa, sino más bien cómo de preparados están los productores para adaptarse. Sin embargo, no debemos precipitarnos a suponer que las medidas de adaptación actuales serán suficientes. El porcentaje de arroz producido con alto riesgo de estrés térmico se triplicará con creces de aquí a 2050 en un escenario de emisiones elevadas, y alrededor de una cuarta parte del arroz se enfrentará a un riesgo de estrés térmico extremo (frente al cero actual) debido al aumento de los niveles de calor en todo el Sudeste Asiático.

Los métodos actuales de cultivo de arroz en condiciones de calor pueden ser suficientes para los días más calurosos que se avecinan, pero el caso del arroz subraya un punto clave de este informe: debemos prepararnos para lo que viene.

El riesgo de sequía también está aumentando bruscamente para los cultivos clave. En la situación actual, menos del 1% del maíz y el trigo se enfrentan a un riesgo de sequía significativo o mayor, que aumentará a más del 30% y el 50%, respectivamente, en un escenario de emisiones altas en 2050.



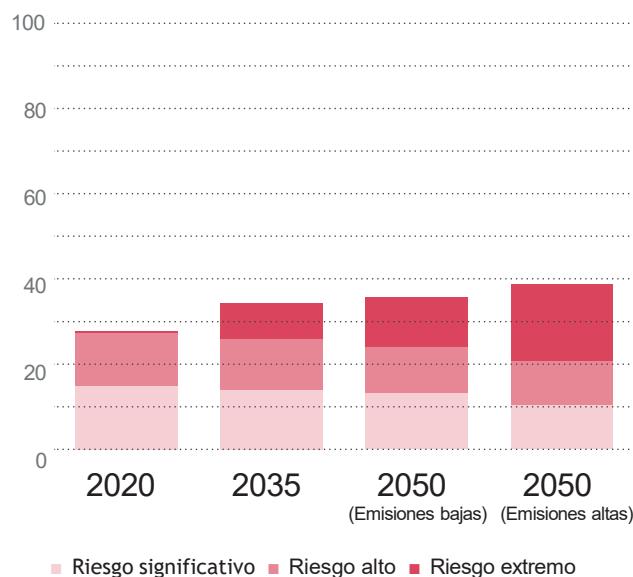
Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Trigo

Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **trigo** expuesta al riesgo de estrés térmico.

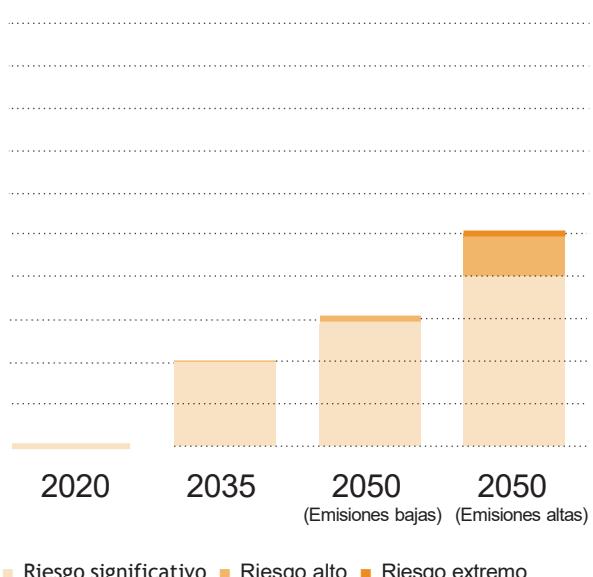


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Sequía

% de la capacidad de producción de **trigo** expuesta al riesgo de sequía.



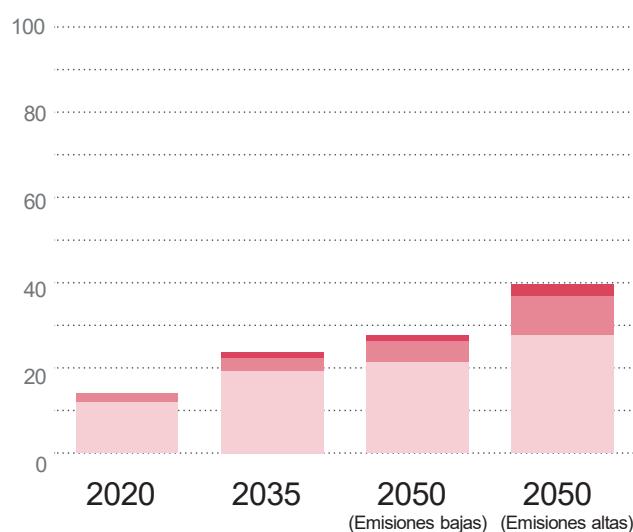
■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

Maíz

Estrés térmico

% de la capacidad de producción de **maíz** expuesta al riesgo de estrés térmico.

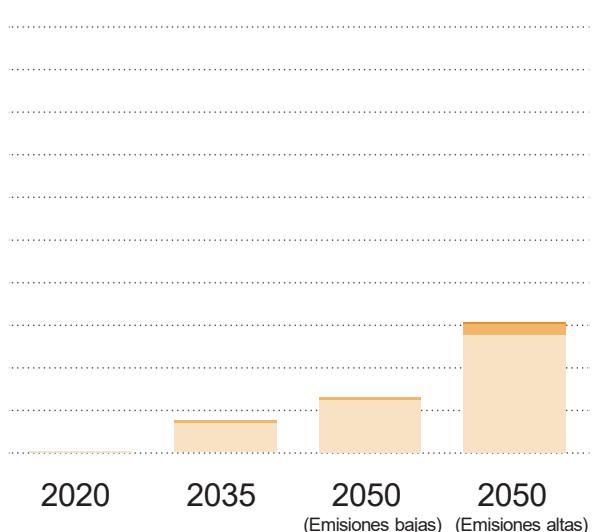


■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk

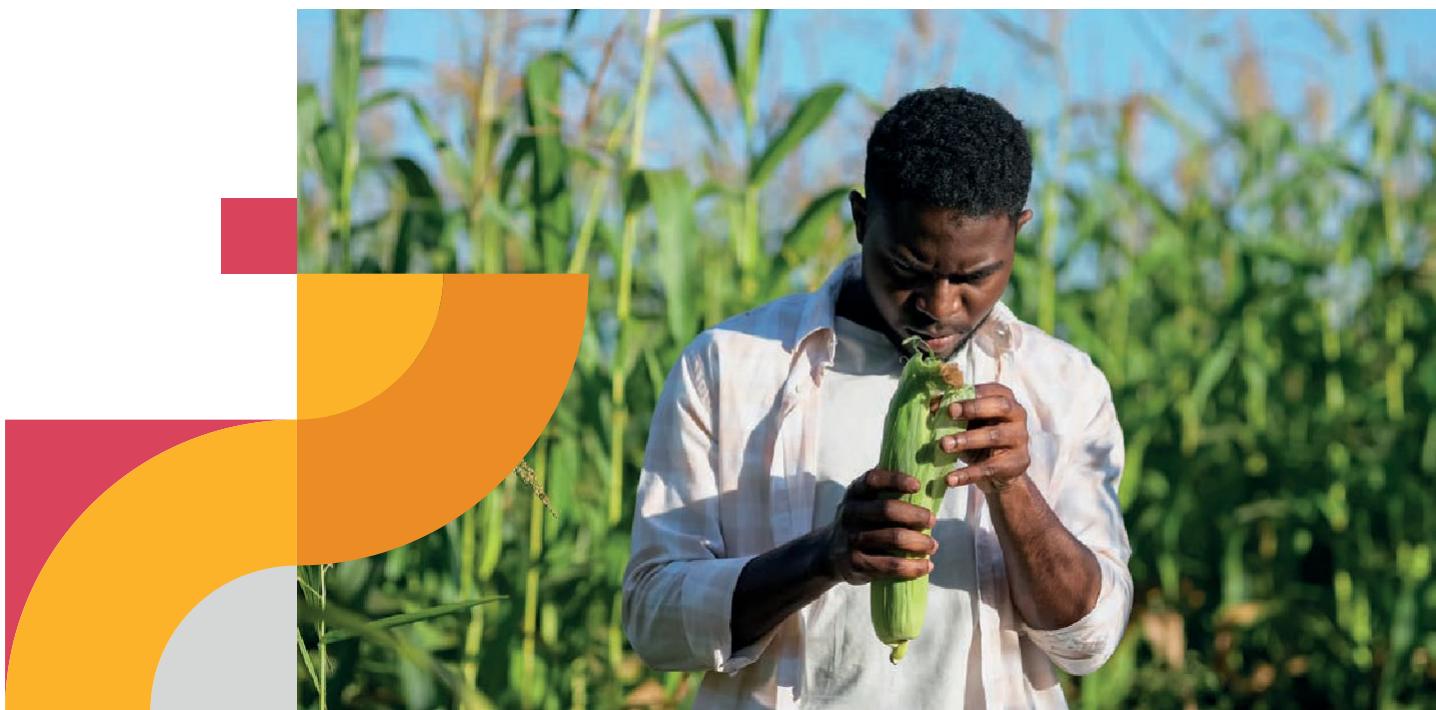
Sequía

% de la capacidad de producción de **maíz** expuesta al riesgo de sequía.



■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Fuente: PwC People and Prosperity at Risk



Caso de estudio: Riesgo de sequía para la producción de maíz en África oriental

El riesgo de sequía para la producción de maíz en África oriental ilustra los peligros de la aceleración del cambio climático, la necesidad de adaptarse y los retos que plantea una adaptación satisfactoria.

El maíz es fundamental para la seguridad alimentaria mundial y desempeña un papel central en la producción agrícola y el consumo alimentario en África Oriental. Casi una cuarta parte¹² de la tierra cultivable de África Oriental se destina al cultivo de maíz y, a diferencia de muchas otras regiones, el maíz que se cultiva aquí se utiliza principalmente¹³ para el consumo humano directo y no para alimentar al ganado.

El cultivo de maíz en África Oriental es predominantemente dependiente de la lluvia,¹⁴ lo que hace que la producción de maíz en la región sea especialmente vulnerable al tipo de fenómenos meteorológicos extremos que ahora son cada vez más frecuentes. África Oriental vive actualmente la que puede ser la peor emergencia de inseguridad alimentaria aguda del mundo, después de que cinco temporadas consecutivas de sequía provocaran múltiples cosechas perdidas.¹⁵

La mejora de las infraestructuras de regadío de la región podría parecer la forma más obvia de mitigar los efectos del cambio climático en el futuro, pero los problemas son, entre otros, los elevados costes, las insuficientes reservas de agua, la alta demanda y la competencia por el agua, la inaccesibilidad de las herramientas de control del agua del suelo y la falta de datos climáticos locales y de parámetros del agua del suelo.¹⁶ Los agricultores de varios países del África subsahariana también han intentado cambiar las fechas de plantación de sus cultivos para intentar anticiparse a la variabilidad interanual del inicio de la temporada de lluvias, pero el acceso a proyecciones climáticas precisas ha dificultado esta tarea.¹⁷

Una solución prometedora es el maíz tolerante a la sequía¹⁸, que resiste mejor los períodos de sequía aguda del suelo. Una resolución de la Asamblea General de la ONU subrayó la importancia de desarrollar este tipo de variedades.¹⁹ Su uso y disponibilidad se consideran cada vez más cruciales, con el proyecto Maíz Tolerante a la Sequía para África²⁰ promoviendo, por ejemplo, la variedad BH661, que ofrece mayor tolerancia a la sequía (además de mayor resistencia a las principales enfermedades, mayor potencial de rendimiento y amplia adaptabilidad).

En conclusión

Nuestro análisis del creciente riesgo de estrés térmico y sequía nos lleva a tres conclusiones:

Es probable que muchos lugares que producen materias primas esenciales experimenten con mayor frecuencia períodos de intensa sequía y estrés térmico, aumentando el riesgo de trastornos relacionados con el clima. Incluso en un escenario optimista de emisiones bajas, las regiones que producen una gran proporción de materias primas clave experimentarán muchos más días de escasez de agua y estrés térmico. Es evidente la necesidad de que los productores de materias primas -y los consumidores- tomen medidas para adaptarse a un clima cambiante. Algunas minas y explotaciones ya emplean medidas para funcionar con éxito en condiciones de calor y sequía. Por ejemplo, debido al empeoramiento de las sequías en Chile, algunas empresas mineras utilizan agua de mar desalinizada en sus operaciones²¹. Nuestro análisis subraya la importancia de medidas de adaptación como éstas.

En algunos casos, los riesgos están aumentando bruscamente desde niveles bajos, lo que subraya la necesidad de permitir que los productores de materias primas estén preparados para gestionar riesgos crecientes que, en algunos casos, pueden tener poca experiencia en gestionar en su localidad.

No podemos dar por sentado que las futuras reducciones de emisiones nos protegerán de un clima cambiante. Incluso en un escenario optimista de emisiones bajas, los riesgos de estrés térmico y sequía aumentarán significativamente de aquí a 2050, lo que pone de relieve la importancia de adaptarse a un clima cambiante mientras nos esforzamos por reducir las emisiones de carbono.





Próximos pasos: Cómo las empresas pueden gestionar los riesgos climáticos



Las empresas se están dando cuenta rápidamente de la necesidad de gestionar los impactos del cambio climático

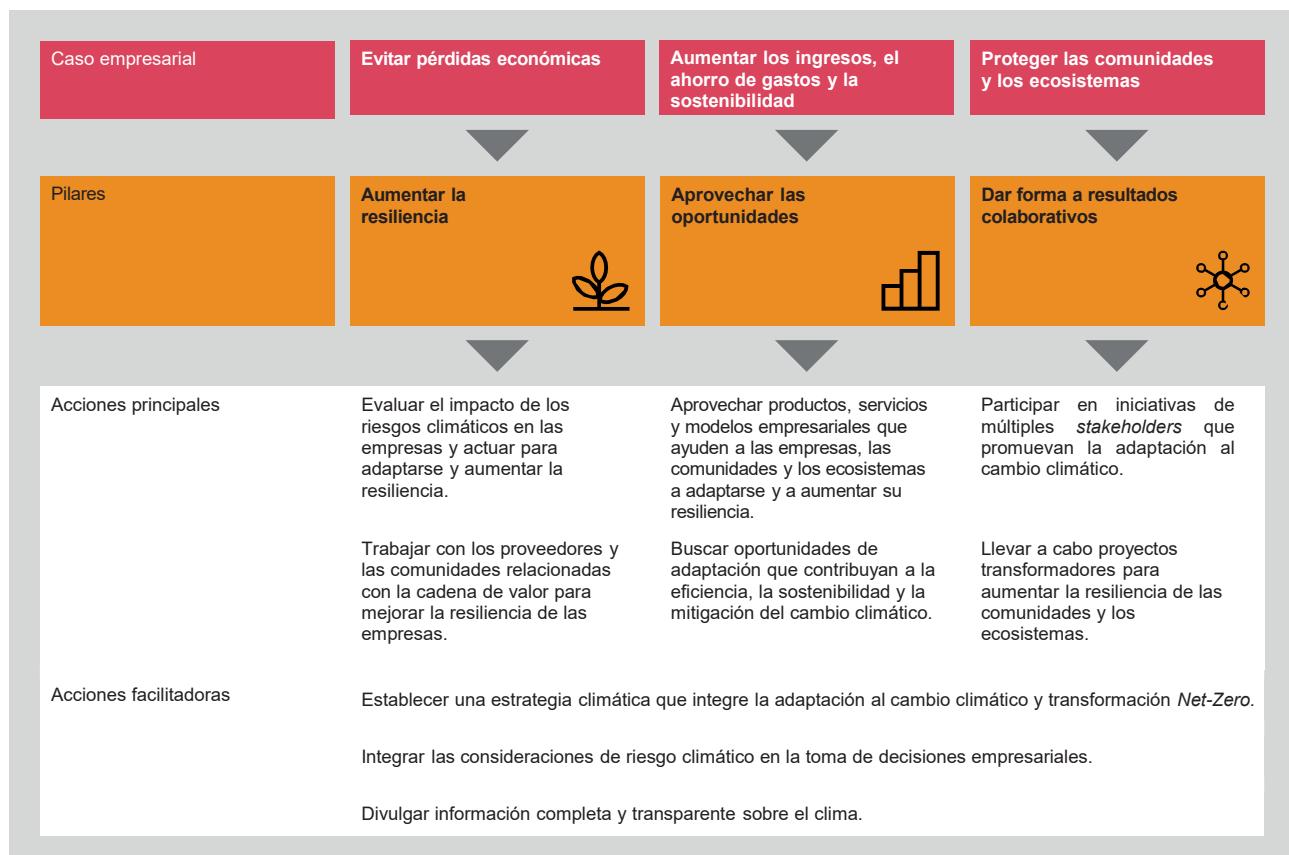
La 27^a Encuesta Anual Mundial de CEO de PwC en 2024 revela que el 47% de los CEO están tomando medidas proactivas para salvaguardar su fuerza laboral y activos físicos frente al cambio climático.

Las empresas hacen bien en tomar medidas para adaptarse a un clima cambiante. Como hemos visto, los riesgos derivados del clima están aumentando en los centros de producción de nueve materias primas esenciales. Si no se adoptan medidas preventivas, la producción mundial podría verse perturbada, lo que repercutiría en todos los países e industrias que dependen de ellas.

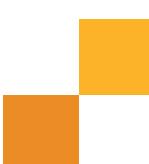
En este capítulo, ofrecemos medidas prácticas que las empresas pueden tomar para adaptarse a los impactos físicos del cambio climático. Aunque hasta ahora este informe se ha centrado en un caso concreto de impactos climáticos (amenazas de calor y sequía para minas y explotaciones agrícolas), en este capítulo examinaremos una serie de formas en que las empresas de muchos sectores se están adaptando a los impactos climáticos físicos. Confiamos en que de este modo el capítulo resulte más útil a las empresas de diversos sectores que deseen gestionar todo el espectro de formas en que los impactos físicos del cambio climático pueden afectar a su negocio.

Tres pilares para adaptarse a un clima cambiante

¿Cómo pueden actuar las empresas para proteger sus operaciones, su personal y sus cadenas de suministro de los efectos del cambio climático? A continuación, exploramos posibles acciones, agrupadas en tres pilares, que las empresas pueden adoptar para ayudar a que su negocio esté preparado para lo que se avecina: 1. Aumentar la resiliencia identificando y gestionando los riesgos, 2. Aprovechar las oportunidades y 3. Dar forma a los resultados colaborativos.



Estos tres pilares proceden de un [marco](#) que PwC desarrolló con el Foro Económico Mundial (FEM) para acelerar la acción empresarial en la adaptación al cambio climático. Nos centraremos sobre todo en el Pilar 1 porque nuestro informe trata principalmente de la adaptación al riesgo climático, y por tanto es aquí donde compartiremos más ejemplos de medidas a adoptar. Sin embargo, los Pilares 2 y 3 también son importantes en un contexto más amplio, por lo que también incluimos algunos ejemplos para ilustrar estos pasos.



Pilar 1: Mejorar la resiliencia

La adaptación al cambio climático -la capacidad de prever, gestionar y recuperarse de los efectos del clima- empieza por identificar claramente los riesgos relacionados con el clima en toda la cadena de valor. Los analistas de riesgos climáticos pueden identificar los riesgos actuales y futuros de calor, sequía y otros peligros del cambio climático en cada kilómetro cuadrado de la superficie terrestre. De este modo, los analistas pueden identificar los riesgos climáticos físicos en cada punto de la cadena de valor de una empresa.

El cambio climático puede tener repercusiones que van mucho más allá de sus efectos físicos directos. Por ejemplo, las medidas gubernamentales para salvaguardar los suministros pueden tener consecuencias para los precios y la disponibilidad mundiales. En 2023, por ejemplo, el gobierno indio prohibió las exportaciones de arroz blanco no basmati, en parte debido al temor a la escasez de arroz en el país provocada por las perturbaciones causadas por El Niño, el fenómeno meteorológico que provoca el aumento de la temperatura del mar. Esto ha provocado una fuerte subida de los precios mundiales del arroz al reducirse la oferta disponible.²² Las empresas deben tener en cuenta estos complejos riesgos en cadena, además de los riesgos físicos directos.

Una vez identificados los riesgos climáticos, las empresas pueden planificar medidas de adaptación y trabajar en colaboración con los proveedores y las comunidades de toda la cadena de valor para adaptarse al cambio climático. Por último, las empresas pueden aplicar estas medidas, supervisar los progresos y evaluar su eficacia.

Juntas, estas acciones pueden marcar una diferencia drástica en la resistencia de una empresa al calentamiento climático. A continuación, compartimos ejemplos de cómo se están adaptando al cambio climático tanto los productores como los consumidores de materias primas esenciales.

Cómo los productores de materias primas mejoran su resiliencia

A medida que la escasez y la imprevisibilidad del agua se intensifican con el cambio climático, algunas empresas líderes se adaptan apostando por la tecnología de nueva generación, por ejemplo, adoptando sistemas avanzados de gestión del agua para evitar derroches. Estos sistemas pueden ayudar a los responsables de la toma de decisiones a predecir las necesidades de agua, optimizar su uso y promover un consumo sostenible en todas las fases de la producción. Otras empresas están considerando la adaptación de las infraestructuras; por ejemplo, construyendo instalaciones de almacenamiento elevadas en zonas propensas a las inundaciones o invirtiendo en estructuras que proporcionen sombra.



Caso de estudio: Las mineras chilenas han combatido la escasez de agua con plantas desalinizadoras

Las mineras chilenas produjeron 154.000 toneladas de litio en 2020, lo que equivale al 25% del total mundial. Sin embargo, nuestro análisis muestra que para 2025 muchas se enfrentan a un alto riesgo de sequía. Además, el uso intensivo de agua por parte de las mineras chilenas ha aumentado el estrés hídrico en algunas comunidades locales. En previsión del aumento del riesgo de sequía, varias empresas mineras de Chile han invertido en plantas desalinizadoras. En la actualidad hay 22 plantas de este tipo en funcionamiento en Chile, con planes para otras nueve.

La inversión estratégica en desalinización ha permitido a las mineras chilenas prepararse para el aumento de la exposición al riesgo y ha apoyado la producción a escala en regiones propensas a la sequía.

Construir una gran planta desalinizadora es una solución costosa, pero la inversión puede crear una ventaja competitiva a largo plazo.²³





Algunos productores de materias primas se están asociando con otros miembros de su sector para desarrollar métodos de protección frente a riesgos climáticos como el calor extremo:

Caso de estudio: La industria del aluminio colabora para minimizar el impacto climático en los trabajadores de minas y refinerías y sus comunidades



El Instituto Internacional del Aluminio se ha embarcado en un proyecto para comprender el impacto potencial de los riesgos relacionados con el clima en la salud de los empleados de la industria del aluminio, y qué medidas pueden tomarse para mitigarlo.

Los investigadores del proyecto descubrieron que las temperaturas producidas por el cambio climático pueden afectar a la producción de aluminio provocando, por ejemplo, enfermedades relacionadas con el calor, enfermedades transmitidas por vectores e impactos relacionados con la sequía. El cambio climático también provoca un aumento de la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos que pueden dañar las infraestructuras, impedir que los empleados lleguen al trabajo e incluso causar lesiones graves o la muerte de la mano de obra y las comunidades.

Una mano de obra fiable es esencial para el funcionamiento y la rentabilidad de la industria del aluminio, por lo que es necesario gestionar adecuadamente estos riesgos. Las opciones de adaptación pueden incluir la introducción de nuevas prácticas laborales, como proporcionar sombra o refrigeración a los trabajadores que realizan trabajos extenuantes a altas temperaturas, así como proporcionar ropa protectora y formar a los trabajadores para que detecten los primeros síntomas de las enfermedades relacionadas con el calor.

El proyecto ha creado un plan de acción para que los propietarios de minas y refinerías y las comunidades puedan identificar y evaluar fácilmente los efectos del clima en los trabajadores y, a continuación, introducir adaptaciones para minimizarlos.

En la agricultura, las estrategias de adaptación incluyen, por ejemplo, la introducción de variedades de cultivos resistentes a la sequía, modelos de cultivo alternativos, productos biológicos (productos de protección de cultivos derivados de organismos vivos) y tecnologías digitales y de automatización. Los responsables políticos pueden ayudar a proporcionar financiación para ampliar el acceso a las medidas de adaptación (ver el caso de estudio a continuación):



Caso de estudio: Aumentar la resiliencia climática ampliando el acceso a la financiación de maquinaria agrícola

Gran parte del arroz de Asia se produce en pequeñas explotaciones. Como hemos visto, es probable que la producción de arroz en Asia se vea especialmente afectada por el aumento del estrés térmico en los próximos años. La maquinaria podría ayudar a reducir el impacto del estrés térmico al tiempo que aumenta la eficiencia. Por ejemplo, las trasplantadoras de arroz autopropulsadas reducen la necesidad de mano de obra física, ayudando a proteger a los arroceros de los efectos potencialmente peligrosos del trabajo en el calor. Sin embargo, el coste puede ser un obstáculo. Una trasplantadora de arroz suele costar entre US\$ 6.000 y US\$ 9.000, una suma formidable para muchos agricultores. Esto significa que una trasplantadora de arroz puede tardar entre tres y 12 años en resultar rentable para un arrocero.

Aunque muchos países asiáticos tienen programas de subvenciones, a menudo no están dirigidos a las explotaciones más pequeñas. Por ejemplo, Nepal concede subvenciones para maquinaria agrícola a explotaciones de 10 hectáreas o más en algunas regiones. Del mismo modo, sólo las explotaciones con al menos 50 hectáreas pueden acogerse al Programa de Mecanización del Fondo de Mejora de la Competitividad del Arroz de Filipinas. Ampliar el acceso a estas iniciativas en los países afectados podría ayudar a reducir el impacto del estrés térmico en la producción de estos países.²⁴

Con una imagen clara de sus riesgos climáticos, los productores de materias primas pueden elaborar un plan para gestionarlos, como hizo, por ejemplo, Mosaic:

Case study: PwC helped Mosaic manage climate change risks to its operations

Mosaic es un productor líder de fosfato y potasa concentrados y quería entender mejor cómo los riesgos físicos del cambio climático podrían [potencialmente afectar a sus operaciones mundiales](#). El equipo de especialistas en riesgos climáticos de PwC US comenzó por realizar una amplia evaluación cualitativa de los riesgos que describía algunos de los riesgos potenciales más significativos relacionados con el clima para las operaciones de Mosaic. Utilizando escenarios climáticos futuros de una variedad de modelos establecidos y fuentes de datos de expertos de terceros, evaluaron el posible impacto empresarial de cada riesgo.

Juntos, Mosaic y PwC identificaron algunos de los riesgos climáticos más prioritarios para la empresa, clasificados por probabilidad estimada de ocurrencia y gravedad del impacto. Tras este taller inicial, Mosaic identificó cuatro riesgos físicos para estudiarlos más a fondo. PwC analizó los niveles de riesgo potencial y los impactos empresariales asociados de los mayores riesgos físicos para Mosaic. Se basó en escenarios de calentamiento de 2°C y 4°C para examinar los riesgos potenciales para el negocio tanto en una economía baja en carbono como en un escenario de emisiones altas, creando un espectro de riesgos para los activos de la empresa. A continuación, PwC integró los planes futuros y los esfuerzos de mitigación de Mosaic para dar un mayor enfoque al análisis.

El ejercicio ayudó a Mosaic a afinar sus estimaciones de los impactos potenciales que determinados riesgos físicos podrían tener en sus operaciones mundiales. También le permitirá tomar decisiones más informadas en el futuro.



Cómo los consumidores de materias primas aumentan la resiliencia

Los consumidores de materias primas dependen de una red de productores, procesadores, transportistas y otros agentes de la cadena de valor, todos los cuales pueden verse afectados por el cambio climático. Para los consumidores de materias primas, la adaptación comienza con una comprensión clara de los riesgos del cambio climático en toda la cadena de valor, teniendo en cuenta los impactos climáticos directos e indirectos, algunos de los cuales pueden no ser evidentes sin una investigación cuidadosa. He aquí cómo PwC descubrió los riesgos climáticos en toda la cadena de suministro global de un fabricante hipotético:

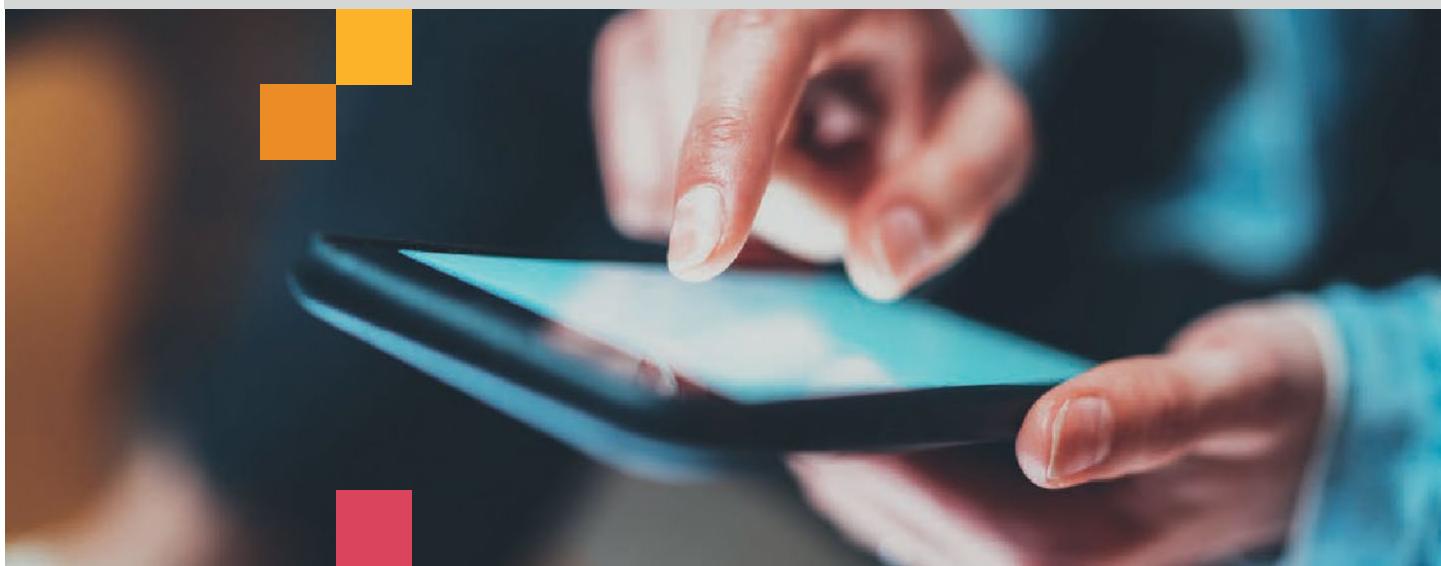
Caso de estudio: Seguimiento de los riesgos climáticos en la cadena de suministro mundial de un fabricante de smartphones

Las cadenas de suministro mundiales pueden ser muy vulnerables al impacto de los riesgos climáticos físicos, a veces de formas de las que ni siquiera somos conscientes. Para poner de relieve la amplia gama de riesgos climáticos físicos a los que se enfrentan las empresas, PwC analizó su potencial impacto en la fabricación y el suministro de un smartphone típico.

Los investigadores trazaron la cadena de valor de un smartphone ficticio y la utilizaron para crear una visión compuesta simplificada de los riesgos climáticos físicos implicados en cada paso. A continuación, estudiaron el impacto de siete riesgos climáticos -inundaciones, precipitaciones extremas, vientos extremos, altas temperaturas, granizo y tormentas eléctricas, sequías e incendios forestales- en estos lugares.

En cada etapa de la cadena de valor, encontraron signos crecientes de riesgo climático físico que amenazaban la capacidad de la empresa para funcionar de forma fiable, incluso cuando la temperatura media mundial era sólo 2°C más alta. Por ejemplo, las temperaturas más altas en las minas de las que se obtienen las materias primas aumentan la probabilidad de enfermedades relacionadas con el calor entre los trabajadores, lo que podría incrementar los costes de explotación de la mina mientras busca nuevas formas de refrigerar la mina y mantener a salvo a los trabajadores. La fabricación y el montaje de los smartphones en países como Japón y China, por su parte, podrían verse afectados por el calor y las lluvias extremas, provocando grandes inundaciones que dañarían las fábricas y las viviendas de los trabajadores.

El calor extremo también podría afectar al transporte de los smartphones al interrumpir las operaciones de un puerto, mientras que los incendios forestales provocados por la sequía son un riesgo para los almacenes. Por último, el fuerte viento supone un riesgo para los centros de distribución y venta al por menor, como en la costa del Golfo de Florida. En cada etapa de la cadena de valor, la amenaza climática física procede tanto de los efectos directos del peligro en sí, como una inundación que derriba un centro de fabricación, como de los efectos indirectos que se derivan, por ejemplo, de una inundación que destruye los puentes que conducen al centro de fabricación.



Muchos consumidores de materias primas han utilizado el marco de la Grupo de Trabajo sobre Divulgación de Información Financiera Relacionada con el Clima (TCFD, su sigla en inglés), diseñado para ayudar a las organizaciones a analizar sus riesgos y oportunidades relacionados con el clima. Por ejemplo, PwC Francia ayudó a una gran cadena de supermercados a aplicar la TCFD para evaluar el impacto potencial de los cambios relacionados con el clima en el suministro de productos agrícolas frescos a sus tiendas:



Caso de estudio: Una cadena de supermercados evalúa la fiabilidad de su cadena de suministro de materias primas

Una gran cadena de supermercados francesa quería entender mejor cómo el cambio climático podría afectar al suministro de los cultivos agrícolas más importantes que se venden en sus supermercados, entre cereales, frutas y verduras.

La empresa solicitó el apoyo de PwC Francia para llevar a cabo un análisis exhaustivo de los riesgos y oportunidades del cambio climático para estos cultivos de acuerdo con las recomendaciones del TCFD.

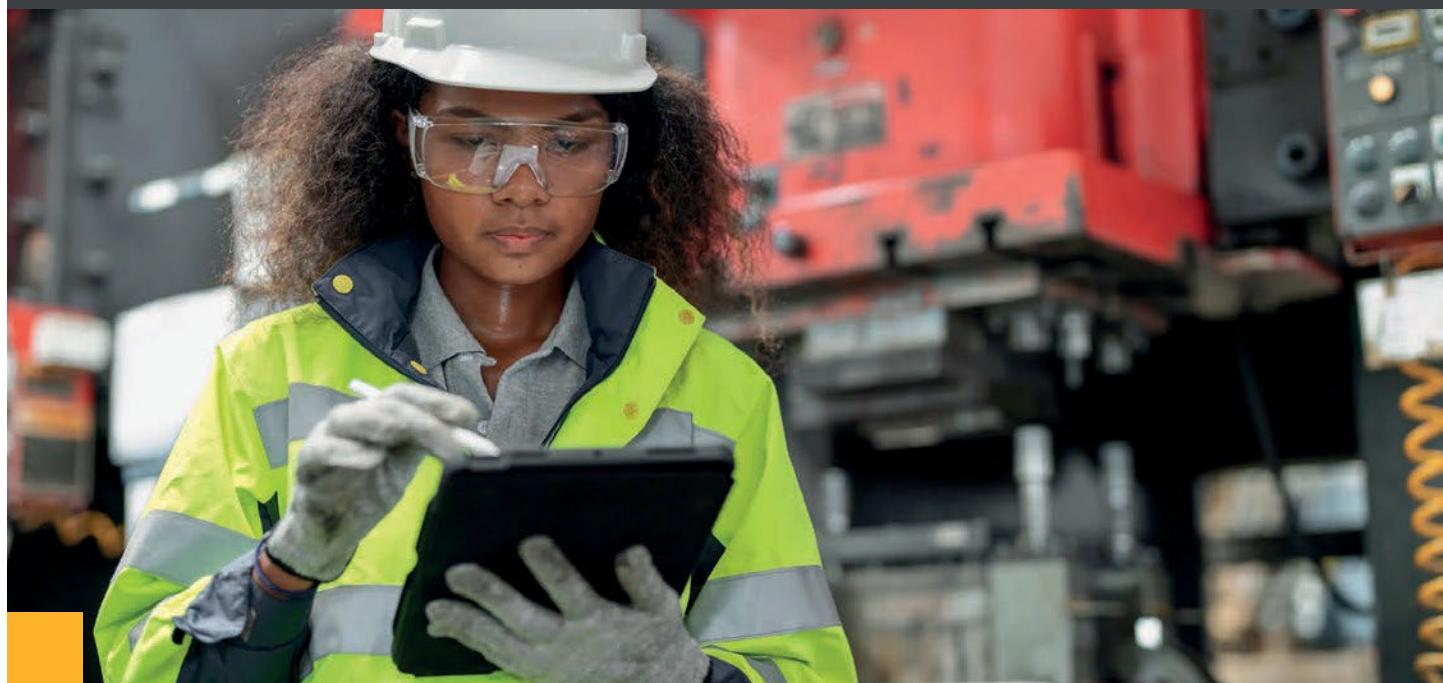
El primer paso consistió en identificar los productos agrícolas de mayor venta en la cadena de supermercados mediante la evaluación de los suministros destinados a sus mayores supermercados. Se descubrió que se trataba de trigo, maíz, papas y frutillas.

A continuación, PwC Francia identificó las principales zonas geográficas donde se cultivaban estos cuatro productos en Francia, utilizando datos geográficos del gobierno francés y otras fuentes públicas para identificar los riesgos climáticos materiales para estos cultivos a corto y medio plazo hasta 2050, según diferentes escenarios del IPCC. Estos resultados se utilizaron para poner de relieve los riesgos climáticos para cada región y tipo de producto.

A través de este análisis identificamos varios peligros climáticos diferentes que podrían afectar y dañar los cultivos, especialmente la sequía causada por el aumento de las temperaturas y la escasez de agua.

El trabajo de PwC Francia con una empresa siderúrgica mundial demuestra cómo puede utilizarse el marco del TCFD relacionada con el clima no sólo para identificar riesgos, sino también para aprovechar oportunidades:

Caso de estudio: El TCFD proporciona una hoja de ruta para la evaluación de los riesgos y oportunidades relacionados con el clima



El TCFD puede ser un marco inmensamente útil para las empresas que buscan comprender mejor cómo afectarán a su negocio los riesgos físicos y de transición (y las oportunidades) provocados por el cambio climático.

Nuestro cliente, un actor global en los mercados del acero inoxidable, eléctrico y especial que opera en más de 40 países, quería aplicar el marco TCFD para evaluar cómo los cambios climáticos podrían afectar a todas las áreas de su negocio.

PwC ayudó a la empresa a recopilar datos sobre sus principales instalaciones, incluidas las de producción de acero y las de almacenamiento de mineral de hierro, y a realizar una evaluación de riesgos en función de diferentes parámetros. Estos datos se utilizaron después para crear cuadros de mando y mapas de riesgos que indicaran el nivel de exposición de estos emplazamientos a los cambios relacionados con el clima.

Además, se cartografiaron las actividades más importantes de la empresa y se crearon perfiles de sensibilidad para decidir en qué actividades centrarse. PwC ayudó a la siderúrgica a identificar planes de adaptación para la empresa con el uso de un cuestionario de vulnerabilidad para comprender mejor el contexto y la preparación de la empresa.

Como resultado de la evaluación, el cliente entendió cómo su negocio puede verse afectado por los riesgos climáticos a través de las lentes de la norma TCFD, y sus equipos fueron capacitados para realizar una evaluación adicional de más de 80 sitios en todo el mundo. PwC integró estos resultados con su equipo de gestión de riesgos y cuantificó financieramente los riesgos físicos y de tránsito más importantes.

Descubrir los riesgos climáticos en toda la cadena de valor puede ayudar a crear urgencia para adaptarse, al tiempo que proporciona la información granular necesaria para tomar las medidas de protección adecuadas, como PwC aprendió cuando nos tomamos el tiempo para examinar nuestros propios riesgos climáticos:

Caso de estudio: PwC descubrió los riesgos climáticos en nuestras propias oficinas

Con demasiada frecuencia, los efectos del cambio climático pueden parecer lejanos, incluso abstractos. En PwC, cuando nos tomamos el tiempo de entender claramente cómo el cambio climático podría afectar a nuestras propias oficinas, los riesgos se hicieron tangibles, inmediatos y personales. Nuestros equipos de riesgos climáticos nos mostraron exactamente cómo cada una de nuestras oficinas en todo el mundo puede verse expuesta a riesgos climáticos como la sequía y el calor extremo.

Cuando pudimos comprobar que algunas oficinas de PwC, desde Tokio a Tampa, podrían enfrentarse a 200 días al año de temperaturas potencialmente mortales, el cambio climático se hizo muy real, muy rápidamente. Esta cruda imagen de nuestros riesgos ayudó a impulsar la acción y, lo que es más importante, a dar a nuestra gente la información detallada que necesitan para tomar medidas de adaptación. Disponer de datos claros sobre nuestros propios riesgos ayudó a disipar los malentendidos de que los efectos del cambio climático sólo se producirán en un futuro lejano, en otros lugares y en otro tipo de empresas. Hicimos públicos los aspectos más destacados de nuestros riesgos climáticos, en parte para animar a otras empresas a examinar los suyos.



Una vez identificados los riesgos climáticos, ¿qué pueden hacer las empresas para adaptarse? Algunas empresas con visión de futuro están adaptando sus estrategias operativas y de abastecimiento, diversificando sus bases de proveedores y desarrollando planes de contingencia para salvaguardar sus cadenas de suministro. Las empresas están adoptando medidas como la planificación de inventarios, cláusulas contractuales de resiliencia climática, mecanismos dinámicos de fijación de precios, medidas de resiliencia en el transporte, garantía de calidad y adaptabilidad, y seguros contra riesgos climáticos.

La experiencia de Nestlé, uno de los principales consumidores de materias primas agrícolas, demuestra cómo utilizar una imagen clara de los riesgos climáticos para desarrollar una estrategia climática global que permita gestionar los riesgos y mantener la continuidad de la actividad empresarial:



Caso de estudio: La estrategia de resistencia climática de Nestlé

Nestlé, empresa mundial de alimentación y bebidas, llevó a cabo evaluaciones de riesgos del cambio climático a nivel de centro, proyecto y proveedor. Tras identificar el cambio climático como un riesgo clave, la empresa utilizó estas evaluaciones para comprender y gestionar mejor los riesgos y oportunidades relacionados con el clima. También utilizó el análisis de escenarios climáticos para comprender mejor el impacto del cambio climático a largo plazo.

Nestlé simuló el riesgo climático físico para el periodo comprendido entre 2025 y 2040. El análisis consideró un aumento de la temperatura por encima del objetivo de 1,5°C para 2040, con el fin de analizar las repercusiones en las operaciones directas debidas a daños en las instalaciones y problemas de producción debidos a perturbaciones en el suministro de insumos. Basándose en la evaluación de riesgos climáticos y en el análisis de escenarios, Nestlé elaboró una estrategia climática global que resume sus esfuerzos para mitigar los riesgos físicos del cambio climático para su negocio. La empresa también desarrolló estrategias específicas de prevención de pérdidas, continuidad de la actividad y reducción del consumo de agua como medidas para gestionar los riesgos de sus instalaciones. Promovió el abastecimiento sostenible, incluido el fomento de la agricultura regenerativa en la cadena de valor. Esta estrategia climática se ha integrado en los sistemas y procesos existentes de Nestlé, incluida la gestión de riesgos y la compensación de ejecutivos. Está aplicando las medidas de adaptación identificadas en la estrategia en todas las zonas geográficas y mercados en los que opera la empresa.

Tesla, uno de los principales consumidores de litio y cobalto, utiliza una serie de estrategias de adaptación que incluyen la colaboración con otros fabricantes de baterías:

Caso de estudio: La estrategia de Tesla para proteger su suministro de minerales críticos



Tesla es uno de los mayores fabricantes de vehículos eléctricos del mundo y depende del suministro regular de litio y cobalto para fabricar las baterías de sus automóviles. Tanto el litio como el cobalto desempeñan una función esencial en la mejora de la autonomía y las prestaciones de seguridad de los vehículos.

Por ello, la empresa ha adoptado una estrategia múltiple para crear una integración vertical que le ayude a establecer una cadena de suministro de litio fiable. Actualmente está construyendo su propia refinería de litio en Texas y ha firmado acuerdos con productores de litio y níquel de Estados Unidos y Canadá para ampliar su base de proveedores. También está colaborando con otros fabricantes de baterías para facilitar un suministro constante. Además de sus propias operaciones de fabricación de células, la empresa utiliza actualmente células de cuatro proveedores diferentes con tres químicas de batería distintas.

Tesla lleva a cabo anualmente una Evaluación de Riesgos Empresariales para identificar los riesgos físicos relacionados con el clima para el negocio, incluyendo revisiones específicas de sus gigafábricas y otros centros de fabricación. Utilizando los resultados de estos análisis, Tesla está buscando formas de proteger sus actividades de fabricación contra los impactos climáticos a medio y largo plazo.

PwC ayudó a una empresa mundial de bienes de consumo envasados a cuantificar el valor de las materias primas en riesgo y a modelizar los efectos del cambio climático en los precios futuros de materias primas clave:

Caso de estudio: PwC cuantificó el valor en riesgo y el impacto en los precios futuros de una empresa mundial de productos de consumo

El equipo de compras de una empresa mundial de bienes de consumo envasados pidió a PwC que le ayudara a comprender el impacto potencial del cambio climático en su capacidad para abastecerse de 12 cultivos prioritarios, como el maíz, la soya y las naranjas. También quería comprender el impacto potencial del cambio climático en el rendimiento futuro de las naranjas y en los precios del jugo de naranja.

PwC llevó a cabo una exhaustiva investigación, adquisición de datos y análisis estadístico para llegar a los impactos climáticos futuros de cada uno de los 12 cultivos. Para desarrollar las métricas de valor en riesgo, PwC identificó regiones de cultivo específicas a través de imágenes de satélite y datos proporcionados por el cliente. A continuación, identificamos las regiones más expuestas a la sequía, el calor y el frío extremos en escenarios de emisiones bajas y altas para 2050 utilizando los resultados de los modelos climáticos del IPCC.

A continuación, PwC cuantificó el valor en riesgo para el cliente incorporando el volumen y el gasto de adquisición para cada cultivo y la exposición climática de sus respectivos países de abastecimiento.

El cliente también estaba cada vez más preocupado por las naranjas debido a su exposición al cambio climático y a la enfermedad del enverdecimiento de los cítricos, vinculada al aumento de las temperaturas provocado por el cambio climático. Para abordar este tema, PwC desarrolló parámetros climáticos para las temporadas de cultivo de naranjas en los hemisferios norte y sur, así como para la futura prevalencia de la enfermedad del enverdecimiento de los cítricos.

PwC también desarrolló un modelo utilizando datos históricos de rendimiento a nivel de país y cambios proyectados en los precios del jugo de naranja debido a una potencial propagación de la enfermedad del enverdecimiento de los cítricos bajo diferentes escenarios climáticos para representar el impacto financiero de la enfermedad en los futuros precios del jugo de naranja.



Pilar 2: Aprovechar las oportunidades

Al mismo tiempo que gestionan sus propios riesgos climáticos, las empresas pueden aprovechar las oportunidades para ayudar a la comunidad empresarial en su conjunto y al ecosistema a adaptarse. Esto es válido tanto para los productores como para los consumidores de materias primas. Las empresas pueden, por ejemplo: revisar cómo sus productos y servicios existentes o nuevos pueden apoyar la adaptación; invertir en investigación, desarrollo e innovación de soluciones de adaptación; y colaborar con otras empresas y *stakeholders* para desarrollar y desplegar nuevas soluciones de adaptación a escala. El objetivo subyacente es aprovechar las oportunidades para construir el arsenal compartido de soluciones de adaptación de la sociedad, beneficiando tanto a una empresa como a su comunidad en general.

A continuación compartimos dos casos de estudio que muestran cómo empresas con visión de futuro están creando plataformas que ayudan a miles de otras empresas a adaptarse a un clima cambiante.

Caso de estudio: Una empresa de maquinaria agrícola ayuda a los agricultores a reforzar su resiliencia ante el cambio climático

Mahindra & Mahindra, empresa fabricante de maquinaria agrícola, ofrece soluciones gratuitas de asesoramiento, digitales y de agricultura de precisión a los agricultores a través de una iniciativa llamada Krish-e, diseñada para ayudar a prevenir los efectos perjudiciales del cambio climático en la productividad agrícola. Estas soluciones se ofrecen a través de centros físicos o de una aplicación digital fácil de usar disponible en ocho idiomas locales.

Krish-e ayuda a los agricultores en la transición a prácticas agrícolas sostenibles proporcionándoles apoyo personalizado en la planificación de cultivos, la selección de semillas, la gestión de nutrientes, la planificación del riego, la gestión de enfermedades y plagas/insectos, la planificación de malas hierbas y otros aspectos operativos. Esto puede aumentar la productividad y reducir así la vulnerabilidad de los agricultores al cambio climático. La información sobre alertas meteorológicas extremas, el inicio de las estaciones, la proyección de enfermedades e insectos, entre otros, puede ayudar a los agricultores a planificar sus cultivos de forma que les ayude a evitar daños y pérdidas en las cosechas. En la actualidad, Krish-e trabaja activamente con más de 500.000 agricultores. La empresa tiene previsto ampliar este programa a toda la India y aumentar considerablemente su alcance





Caso de estudio: Un gemelo digital ayuda a las empresas a prever y gestionar el riesgo climático

One Concern, una empresa de tecnología de análisis de la resiliencia, ha construido un gemelo digital de Estados Unidos y otro de Japón, capturando los detalles de cada pieza de infraestructura en los países, más de un billón de puntos de datos. Los gemelos digitales sirven como plataforma multirriesgo que capta el riesgo climático y el impacto de los fenómenos extremos a nivel de activos, comunidades y carteras. La plataforma también identifica los efectos dominó de un peligro en redes complejas. La plataforma One Concern ayuda a las empresas a visualizar y analizar cómo afecta el cambio climático a sus activos y redes. También permite a las empresas comparar la resiliencia de los activos de su propia cartera, considerar la vulnerabilidad externa a escala y compararse con las referencias del sector. Con estos análisis avanzados de riesgos, las empresas pueden tomar decisiones informadas para aumentar la resiliencia y modificar los procesos existentes de valoración y riesgo para incorporar la resiliencia al clima y a las catástrofes naturales. Esto también puede ayudar a las organizaciones a reducir sus emisiones mediante una mitigación precisa. La plataforma ha ayudado a múltiples clientes de los sectores de seguros, banca, inmobiliario comercial e infraestructuras a involucrar a sus clientes empresariales en la planificación de la adaptación.

Pilar 3: Dar forma a los resultados colaborativos

Muchas empresas colaboran en la acción por el clima con diversos *stakeholders*, desde gobiernos e inversores hasta académicos y comunidades locales. Las empresas trabajan en estos ecosistemas para desarrollar nuevas medidas que respalden sus operaciones a largo plazo. De este modo, protegen tanto sus propios intereses estratégicos como los de las generaciones futuras.

Por ejemplo, las empresas mineras y agrícolas aprovechan los conocimientos del mundo académico y de la investigación, se alinean con los innovadores tecnológicos, hablan con los reguladores y los inversores y trabajan para comprender las perspectivas de las comunidades locales. Los fabricantes de automóviles colaboran con otros agentes del sector para garantizar el suministro de materiales a sus procesos de fabricación. Los productores de alimentos trabajan con sus proveedores para garantizar un suministro constante y ayudarles a proteger sus propios medios de subsistencia. Uniendo fuerzas, las empresas pueden trabajar para establecer normas unificadas, consolidar los esfuerzos de investigación y fortalecer los vínculos en las cadenas de suministro mundiales. Todos estos esfuerzos reconocen que un diálogo más rico y un sentido de propósito compartido estimularán más la innovación y ayudarán a las empresas a prosperar en nuevos entornos operativos.

A continuación, se exponen dos casos de estudio que muestran cómo es en la práctica la configuración de los resultados de la colaboración y cómo una medida pragmática en este frente puede contribuir a una mayor adaptación de todas las partes implicadas. En primer lugar, la experiencia de PepsiCo muestra el valor de las asociaciones entre productores de materia prima y consumidores:

Caso de estudio: La estrategia de agricultura regenerativa de PepsiCo



PepsiCo, una de las mayores empresas alimentarias del mundo, depende de un suministro seguro de más de 30 cultivos e ingredientes agrícolas -entre ellos maíz, trigo y arroz- procedentes de unos 60 países. Para que estos suministros estén protegidos del impacto de los riesgos relacionados con el clima, PepsiCo trabaja con sus agricultores para que adopten prácticas de agricultura regenerativa, un conjunto de técnicas diseñadas para mejorar y restaurar los ecosistemas en zonas que podrían verse afectadas por el cambio climático, con el fin de que el suelo esté más sano, capturar carbono, mejorar la salud de las cuencas hidrográficas, proteger y mejorar la biodiversidad y fortalecer los medios de vida de los agricultores optimizando sus rendimientos e ingresos agrícolas a largo plazo.

La empresa apoya una amplia gama de prácticas regenerativas, como la plantación de cultivos de cobertura para proteger el suelo, la reducción del laboreo para mantener la salud y la fertilidad del suelo y el fomento de la ganadería y otras diversidades en las explotaciones. Estas prácticas ayudan a mantener y añadir nutrientes, mejorar la fertilidad, mantener el carbono del suelo, controlar las plagas y las malas hierbas mediante una gestión sostenible, mejorar la biodiversidad, mantener la calidad del agua y proteger las cuencas hidrográficas. Al apoyar a los agricultores de esta manera, PepsiCo pretende contribuir a garantizar su suministro y, al mismo tiempo, ayudar a los agricultores a afrontar los retos del cambio climático y prepararse para los desafíos agrícolas del futuro.

La industria turística de Nueva Zelanda depende en gran medida de los recursos naturales del país en forma de paisajes, escenarios y oportunidades de aventura al aire libre. El trabajo de PwC Nueva Zelanda con la industria turística neozelandesa demuestra el valor de convocar a una comunidad de múltiples partes interesadas (en este caso, científicos, gobiernos, financieros, comunidades indígenas, etc.) para crear conjuntamente una estrategia de adaptación eficaz:

Caso de estudio: PwC Nueva Zelanda identificó los riesgos y oportunidades relacionados con el clima para el sector turístico neozelandés

Nueva Zelanda, también conocida por su nombre maorí Aotearoa, es reconocida en todo el mundo por sus paisajes vírgenes y sus excepcionales accidentes geográficos. Sin embargo, la creciente preocupación por el cambio climático y la degradación del medio ambiente están amenazando al sector turístico y poniendo en entredicho la emblemática marca del país, 100% Pure. El aumento de las temperaturas está acortando las temporadas de nieve, mientras que las inundaciones y sequías, junto con la erosión costera, la pérdida de biodiversidad y el deshielo de los glaciares, están poniendo en peligro el estatus del país como destino limpio y ecológico.

En colaboración con The Aotearoa Circle, PwC Nueva Zelanda lideró un proyecto multilateral que mostraba al sector cómo los distintos escenarios de cambio climático podrían marcar el rumbo de su futuro. Para ello, recurrió a especialistas de los campos de la climatología y las ciencias de la tierra, la conservación, el gobierno y las finanzas sostenibles, tanto para iluminar los problemas como para identificar posibles caminos. PwC Nueva Zelanda también analizó las consecuencias, la probabilidad y la gravedad del riesgo climático y concibió una hoja de ruta para adaptarse a ellos.

A lo largo de nueve meses, PwC Nueva Zelanda codiseñó una estrategia de adaptación y una hoja de ruta para el turismo neozelandés con respecto a las consideraciones indígenas, incluyendo la participación de un destacado anciano y el responsable cultural nacional de PwC Nueva Zelanda.

Estos ejemplos tan diferentes demuestran que los resultados de la colaboración pueden adoptar diversas formas e implicar a diferentes *stakeholders* en cada escenario. Sin embargo, en todos los casos, las organizaciones y los stakeholders colaboran para desarrollar nuevas medidas que respalden operaciones resistentes a largo plazo.



Apéndice 1: Diseño de la investigación

En este apéndice sobre el diseño de la investigación, explicamos con más detalle por qué las nueve materias primas son esenciales para la economía mundial, cómo hemos diseñado nuestra investigación para analizar los riesgos climáticos para la producción de estas materias primas y las limitaciones de nuestro análisis.

Por qué hemos elegido estas nueve materias primas como esenciales para la economía mundial

Metales vitales

El aluminio (fabricado a partir de la bauxita), el mineral de hierro y el zinc son metales vitales, esenciales para los materiales de construcción, la fabricación y la producción de acero. Se prevé que la demanda de aluminio, hierro y zinc aumente debido a su papel en la producción de tecnologías renovables.²⁶

- **Hierro.** El mineral de hierro es el más extraído del mundo, representando el 93% del volumen de minerales extraídos en el mundo en 2021, con 2.600 millones de toneladas extraídas.²⁷ Dado que el 98% del mineral de hierro se convierte en arrabio para fabricar acero, el mineral de hierro es enormemente importante para la industria de la construcción, que generó más de la mitad de la demanda mundial de acero debido a su combinación única de resistencia, conformabilidad y versatilidad.²⁸
- **Aluminio/Bauxita.** La bauxita es la materia prima utilizada para producir aluminio para la producción de metales. El aluminio se utiliza ampliamente en el transporte, la construcción y el embalaje, entre otras industrias. La bauxita es una fuente clave de metales raros necesarios en la fabricación de tecnologías verdes, y los residuos de bauxita también contienen trazas de metales de tierras raras.
- **Zinc.** El zinc es el cuarto mineral más utilizado del mundo. Tres cuartas partes del zinc se utilizan para dar a los metales propiedades específicas, como galvanizar el acero o el hierro para evitar que se oxiden. El zinc es, por tanto, un insumo clave para la construcción y la fabricación de automóviles.²⁹ El zinc también se utiliza ampliamente en las industrias agrícola, del caucho y química.

Minerales esenciales

El cobalto, el cobre y el litio son minerales críticos que constituyen componentes vitales de las tecnologías que forman parte de la transición a la energía verde. Entre ellas figuran los vehículos eléctricos y muchas formas de generación y almacenamiento de energías renovables.

- **El litio** es un componente clave para la producción de baterías, que representa el 65% del mercado del litio, impulsado por el creciente mercado de vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos portátiles y almacenes de energía. Se espera que la demanda de litio aumente en respuesta a un cambio global hacia los vehículos eléctricos y el almacenamiento de energía renovable. La Agencia Internacional de la Energía afirma que las inversiones en tecnologías para mantener la temperatura global "muy por debajo de los 2°C" en 2040 harían que la demanda de litio se multiplicara por 43 en comparación con 2020.³⁰ El litio es también un insumo importante en la defensa nacional, la medicina y las aplicaciones industriales.³¹ El litio figura en la lista de materias primas críticas de la Comisión Europea, junto con el cobalto y el cobre.³²
- **El cobalto** se ha convertido en un insumo esencial para determinadas fabricaciones especializadas debido a sus propiedades distintivas. El cobalto se utiliza mucho en la fabricación de herramientas de corte de alta velocidad, potentes imanes y aleaciones de alta resistencia para motores a reacción y turbinas de gas.³³ El cobalto también se ha convertido en un elemento cada vez más importante de la transición a la energía verde debido a su papel en la producción de baterías para coches eléctricos, ordenadores y teléfonos móviles. Se prevé que la demanda de cobalto se duplique con creces entre 2022 y 2030, según el último informe de mercado del Instituto del Cobalto.³⁴ Entre el 60% y el 70% del aumento de la demanda de cobalto es inevitable si los países quieren cumplir los objetivos de energías renovables establecidos en el Acuerdo de París.³⁵
- **El cobre** es el tercer mineral más utilizado de la Tierra. Su alta conductividad, baja resistencia y amplia disponibilidad lo hacen ideal para el cableado y los circuitos eléctricos. Las aplicaciones en electrónica representan casi la mitad de la demanda de cobre. Se espera que la demanda de cobre se duplique, pasando de 25 millones de toneladas métricas en 2022 a cerca de 50 toneladas métricas en 2035, un nivel récord que se mantendrá y seguirá creciendo hasta alcanzar las 53 toneladas métricas en 2050.³⁶ Se prevé que los esfuerzos para lograr las reducciones de carbono prometidas en el Acuerdo de París impulsen más del 40% de la demanda total de cobre en las próximas dos décadas.³⁷ El cobre también es fundamental para la producción de maquinaria industrial, vehículos y tecnología verde.³⁸

Cultivos clave

El maíz, el arroz y el trigo son los tres cultivos de cereales más consumidos por las personas, ya que representan el 42% de las calorías humanas, el 37% de las proteínas consumidas por las personas y el 90% de todos los cultivos de cereales cultivados en el mundo.^{39, 40} Estos tres cultivos seguirán siendo la principal fuente de alimentos para miles de millones de personas hasta 2050. Las perspectivas agrícolas de la OCDE para 2023-2032 sugieren que la demanda mundial de trigo y arroz aumentará un 11% entre ambos períodos, mientras que la demanda mundial de maíz aumentará un 12% en el mismo periodo.⁴¹

- **El maíz** es, después de la caña de azúcar, el segundo cultivo más producido en el mundo y el cereal más producido. El 80% del maíz se destina a la alimentación humana y animal. Después del arroz y el trigo, el maíz es el tercer cereal más consumido por los seres humanos. El canal indirecto (a través de los animales) por el que los humanos consumen maíz lo convierten en un cultivo clave a nivel mundial.⁴²
- **El arroz** es el segundo cereal más producido en el mundo. El arroz suministra el 20% de la energía alimentaria mundial y es la principal fuente de nutrientes para más de 3.000 millones de personas.⁴³ La producción mundial de arroz se triplicó con creces entre 1961 y 2021, y la producción en África se multiplicó por más de ocho en ese periodo.⁴⁴
- **El trigo** es el tercer cereal más producido y el segundo para consumo humano.⁴⁵ En 2018, el trigo se cultivó en alrededor de 217 millones de hectáreas de tierra en todo el mundo, la mayor cantidad de cualquier cultivo.

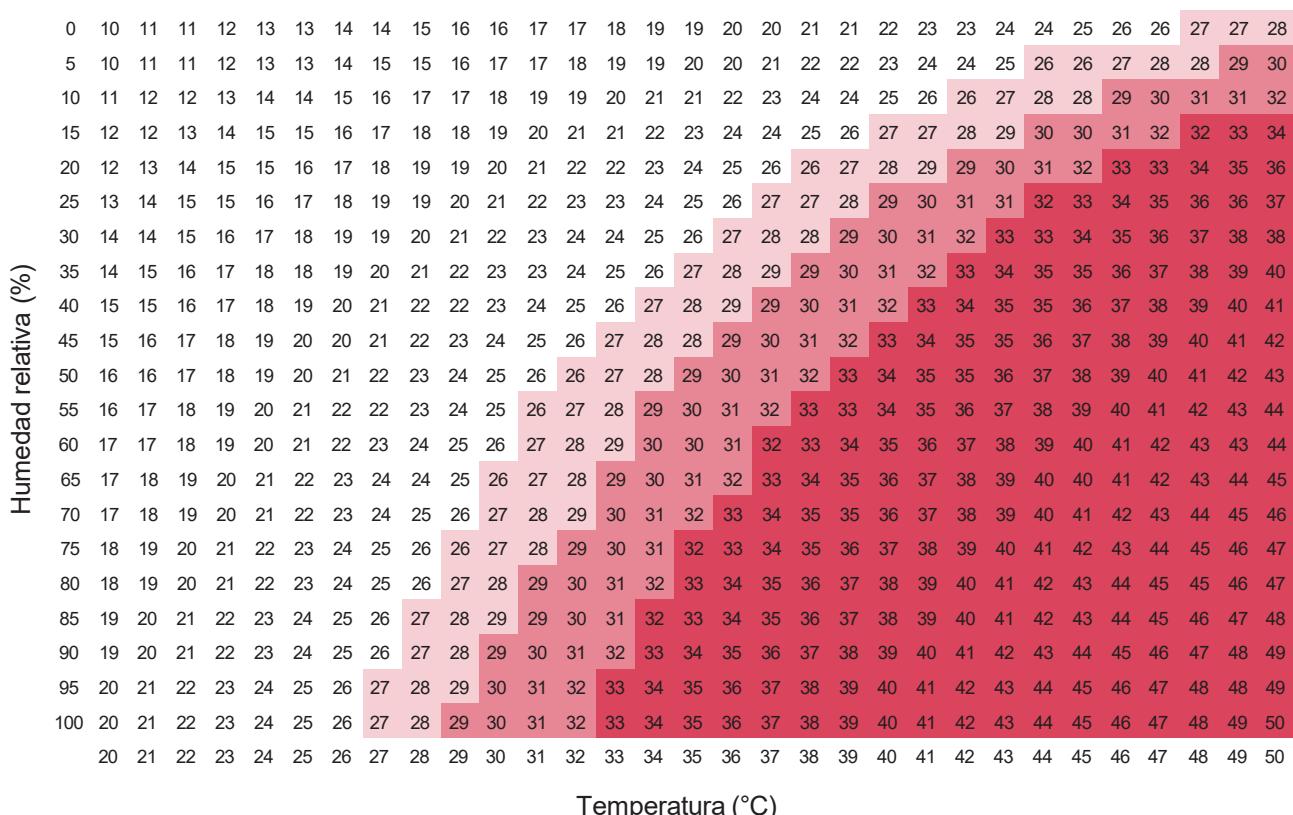
El estrés térmico puede alterar la producción en minas y granjas

El estrés térmico puede expresarse como la Temperatura Global del Bulbo Húmedo (TGBH), que refleja el impacto combinado de la temperatura y la humedad en la fisiología humana (Figura 3). Cualquiera que haya pasado tiempo al aire libre en un día caluroso y húmedo habrá notado cómo la humedad magnifica el impacto del calor. El TGBH capta este efecto combinado.

Tanto en la minería como en la agricultura, la productividad disminuye cuando aumenta el TGBH, lo que refleja el hecho de que los mineros y los trabajadores agrícolas suelen pasar muchas horas al aire libre, expuestos directamente a los efectos del calor y la humedad.⁴⁶ Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en los próximos 30 años aumentarán en muchas regiones la duración, la frecuencia y la temperatura media de los días calurosos. De hecho, esto ya está ocurriendo.⁴⁷ La Asociación Meteorológica Mundial informó de que 2023 fue el año más caluroso registrado, con un aumento medio de la temperatura global de 1,45°C por encima de los niveles preindustriales, casi superando el límite de 1,5°C establecido en el Acuerdo de París.⁴⁸ La velocidad del calentamiento es asombrosa. Los primeros días con una temperatura media global superior a 1,5°C por encima de los niveles preindustriales se registraron en 2015; en 2023 casi la mitad de los días fueron así de calurosos.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) señala que los trabajadores del sector agrícola están especialmente expuestos al estrés térmico, y el IPCC afirma que "el cambio climático expondrá cada vez más a los trabajadores al aire libre... al estrés térmico, reduciendo la capacidad laboral".⁴⁹

Temperatura del globo de bulbo húmedo a partir de la temperatura y la humedad relativa



Umbrales de temperatura TGBH para cada nivel de riesgo:

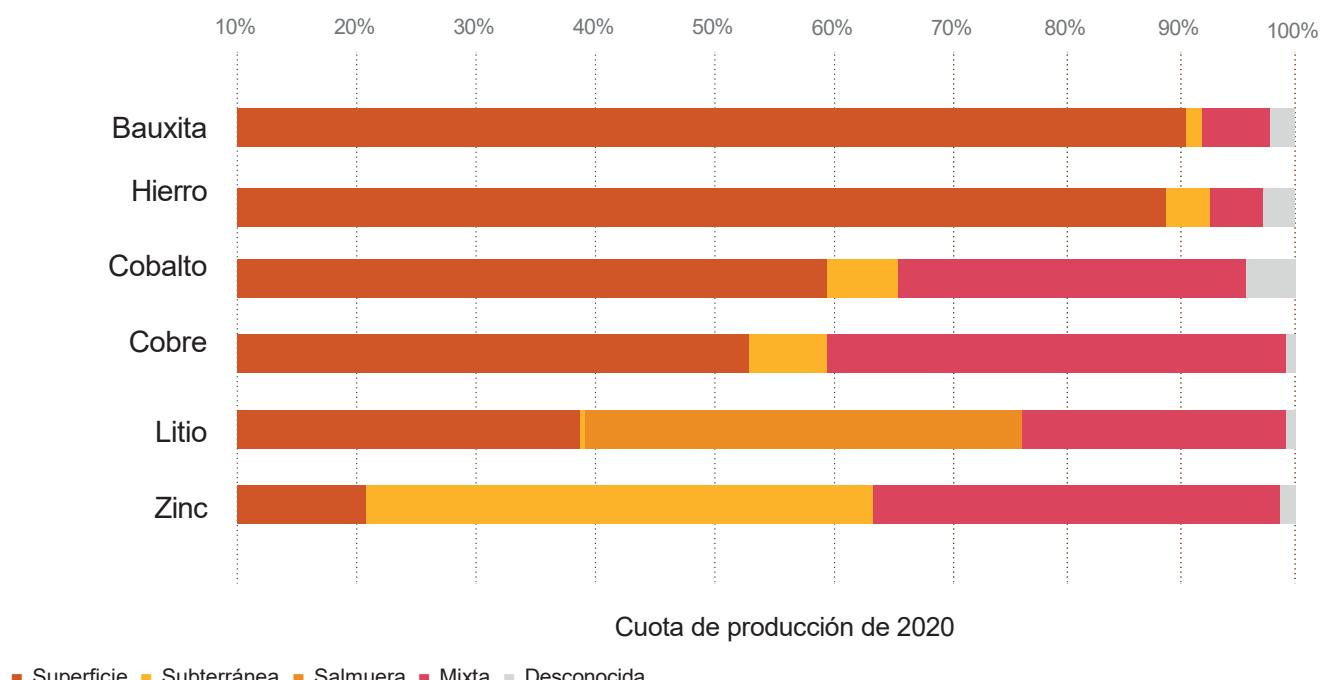
■ Riesgo significativo ■ Riesgo alto ■ Riesgo extremo

Un cambio relativamente pequeño en la temperatura puede tener un gran impacto en la productividad. Las investigaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) muestran que un aumento global de la temperatura de 1,5°C podría provocar una reducción del 2,2% en el total de horas de trabajo a la sombra para 2030. Esto equivale a una pérdida de productividad de 80 millones de empleos a tiempo completo. Un aumento equivalente de la temperatura de la superficie a pleno sol podría provocar una pérdida del 3,9% de las horas de trabajo, es decir, 136 millones de empleos a tiempo completo.⁵¹

Estos impactos ya se están dejando sentir en la agricultura y la minería. Por ejemplo, un estudio reveló que la tasa anual de mortalidad de los trabajadores agrícolas estadounidenses debida al calor era 19 veces superior a la de todos los trabajadores civiles del país.⁵² Además, el Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (NIOSH, su sigla en inglés) de EE.UU. informa de múltiples casos en los que trabajadores agrícolas inmigrantes murieron por insolación tras cosechar a mano en condiciones de calor extremo.⁵³ Según el grupo de expertos Atlantic Council, en 2050 el sector agrícola estadounidense podría sufrir una pérdida de valor añadido bruto superior al 3,5% debido a la reducción de la productividad de los trabajadores inducida por el calor.⁵⁴

En la minería, los trabajadores también suelen estar expuestos al riesgo de estrés térmico, con un impacto específico que depende del tipo de mina (véase el siguiente gráfico). La mayor parte de la extracción de nuestras materias primas esenciales se lleva a cabo en minas de superficie o a cielo abierto, que tienen más probabilidades de estar expuestas a la luz solar directa, lo que provoca un mayor TGBH y el consiguiente estrés térmico.⁵⁵

Cuota de producción de cada mineral en 2020 por tipo* de mina



Fuente: CapIQ, análisis de PwC

* Las minas "de superficie" incluyen las minas a cielo abierto y de dragado. La categoría "mixta" incluye la producción de explotaciones que utilizan una combinación de minas de superficie, subterráneas y/o de salmuera (es decir, las minas mixtas utilizan una combinación de al menos dos de estas categorías). Nota: El estrés térmico también puede perjudicar el rendimiento de los cultivos. Estos efectos pueden variar entre nuestros tres cultivos de interés (arroz, trigo y maíz), por lo que en este documento nos centramos en cómo afecta el estrés térmico a una cosa que los tres cultivos tienen en común: la dependencia del trabajo humano para producirlos. Véase en el Apéndice 2 un mapa detallado de las formas en que el estrés térmico puede afectar a la producción en minas y explotaciones.

Cómo definimos el riesgo de estrés térmico

Definimos tres niveles de riesgo de estrés térmico en función del TGBH, con niveles crecientes de impacto en la productividad laboral. Para valores de TGBH de 32,2°C y superiores, por ejemplo, la mayoría de las directrices actuales establecen que los trabajadores deben descansar 45 minutos o más por cada 15 minutos de trabajo moderado al sol.^{56, 57, 58} La consecuencia para los empresarios es que, a medida que aumente la TGBH, es probable que experimenten reducciones sustanciales de la capacidad laboral por trabajador y un aumento de los costes, a menos que se utilicen medidas de adaptación para proteger a los trabajadores.

Los riesgos de estrés térmico aumentan en consonancia con el TGBH, lo que reduce la productividad laboral

Categoría de riesgo	Niveles de riesgo / Duración	Impacto
Significativo	Al menos 10 días al año con una TGBH promedio diaria de 26,3°C. El total de días con TGBH a este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral en al menos un 25%.
Alto	Al menos 10 días al año con una temperatura media diaria de 28,9°C. El total de días con TGBH a este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral al menos un 50%.
Extremo	Cada año, uno o más días con una temperatura media diaria de 32,2°C. El total de días con TGBH en este nivel puede ser considerablemente superior.	Reduce la productividad laboral en al menos un 75% y es peligroso para los trabajadores al aire libre.

Cómo puede afectar la sequía a la minería y la agricultura

La sequía representa un riesgo importante tanto para la minería como para la agricultura.⁵⁹ En el caso de la minería, la falta de agua socava las operaciones que requieren un uso intensivo de agua, como la extracción de minerales, el procesamiento de minerales y el control del polvo, mientras que en la agricultura puede reducir el rendimiento de los cultivos.

El litio, un mineral crítico, está especialmente expuesto al riesgo de sequía⁶⁰, ya que la extracción tradicional de litio mediante salmuera (como la que se utiliza en el Triángulo del Litio en Sudamérica) tiende a ser especialmente intensiva en agua⁶¹ y requiere volúmenes excepcionales de agua para la exploración, la extracción y el procesamiento.⁶² La cantidad de agua necesaria para extraer un kilogramo de litio varía, pero puede ser de miles de litros o más.⁶³

La sequía ya está afectando a la minería. Por ejemplo, la industria minera sudafricana se enfrentó a una importante sequía en 2015-2017, cuando la escasez de agua provocó el cierre de minas, el descenso de la productividad y pérdidas económicas.⁶⁴ Dicho esto, las técnicas modernas de minería de superficie suelen ser más eficientes en el uso del agua que la minería tradicional a cielo abierto o subterránea, y hay numerosos ejemplos de minerales que se extraen en lugares áridos. De hecho, más del 50% de la producción actual de litio se encuentra en regiones con escasez de agua y el 80% de la producción de cobre de Chile procede de zonas áridas.⁶⁵ Una de las principales consecuencias de este informe es que puede ser necesario generalizar el uso de métodos de adaptación a la sequía.

Pasando de la minería a la agricultura, la actividad agrícola es la industria más sedienta del mundo, con un 70% del consumo mundial de agua dulce en 2022⁶⁶. En este contexto, la ausencia de agua para el riego supone una amenaza existencial. El agua es especialmente crítica en el cultivo de arroz, trigo y maíz.⁶⁷ Véase en el Apéndice 2 un mapa detallado de las formas en que la sequía puede afectar a la producción en minas y explotaciones agrícolas.

Cómo definimos el riesgo de sequía

Utilizamos un índice de sequía estándar⁶⁸ para definir tres niveles de riesgo.

Categorías de riesgo de sequía⁶⁹

Categoría de riesgo	Niveles de riesgo / Duración de la sequía grave
Significativo	20% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía
Alto	40% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía
Extremo	80% del tiempo en un periodo de 20 años de grave sequía

Examinamos el riesgo de calor y sequía actual y futuro, para escenarios de emisiones altas y bajas

Modelizamos los riesgos de estrés térmico y sequía en tres períodos de tiempo diferentes: **una línea base de 2020** (un promedio de 2010 a 2030, centrado en 2020), y miramos hacia el futuro, hacia los años **2035 y 2050**. (Nota: A lo largo de este informe, utilizaremos "ahora" u "hoy" como abreviatura para referirnos al periodo de referencia actual).

Además, para el año 2050, comparamos dos escenarios diferentes sobre cómo podrían desarrollarse los esfuerzos mundiales a largo plazo para reducir las emisiones de carbono. Examinamos tanto un escenario de emisiones bajas como uno de emisiones altas, según la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, su sigla en inglés):

- **Un escenario de emisiones bajas** para 2050 en el que se tomen medidas sustanciales para frenar las emisiones, manteniendo el aumento de la temperatura media global por debajo de 2C. Incluso en este escenario, es probable que se produzca un aumento sustancial de la proporción de algunas materias primas esenciales afectadas por el estrés térmico y la sequía. (SSP1-2.6).
- **Un escenario de emisiones altas** para 2050 en el que no se adopten medidas para seguir una senda de emisiones bajas, lo que provocaría un aumento catastrófico de la temperatura media mundial de 4,4C para 2100. (SSP5-8.5)

Limitaciones de nuestro análisis

Aunque nuestro planteamiento ofrece una visión útil de cómo las distintas materias primas pueden verse más expuestas a los diferentes riesgos climáticos en el futuro, el lector debe tener en cuenta algunas advertencias importantes a la hora de interpretar sus conclusiones.

- **No estimamos los posibles cambios en la producción.** Nuestros resultados muestran qué partes del mundo están expuestas a riesgos climáticos en la línea de base histórica (véase el Apéndice 1.1) y su exposición prevista hasta 2050. Analizamos las posibles consecuencias de la exposición de cada materia prima a los distintos riesgos climáticos. Pero no intentamos cuantificar cómo podría cambiar la producción de cada materia prima al verse expuesta a un peligro climático o a otras variables climáticas. Esto variará en función de las condiciones económicas, físicas y normativas locales y, sobre todo, del grado de aplicación de las medidas de adaptación.
- **Consideramos los riesgos físicos del cambio climático, no los riesgos de transición.** Los riesgos físicos son los impactos directos del cambio climático sobre los activos y las infraestructuras. Los riesgos de transición abarcan los cambios en los mercados, las políticas y la tecnología que se producirán a medida que el mundo mitigue el cambio climático y se adapte a él. Aunque sugerimos cuáles podrían ser algunas de las implicaciones de la transición para la disponibilidad y la demanda de materias primas esenciales, nuestro análisis se centra en el cambio del riesgo físico, basado en la producción de referencia (véase el Apéndice 1.1), para las materias primas esenciales entre la situación de referencia y 2050.
- **No podemos predecir futuras medidas de adaptación.** Nuestro análisis sólo examina las exposiciones. No predecimos, ni podemos predecir, qué medidas se tomarán para gestionar estas exposiciones. Países de todo el mundo están tomando medidas para adaptarse a los riesgos climáticos. Otras empresas y países pueden haber empezado a mitigar los riesgos climáticos futuros, rompiendo la conexión entre la aparición de amenazas y los impactos en la producción. Nuestro análisis subraya la importancia de las medidas de adaptación.
- **Basamos las estimaciones de exposición en las cantidades de producción de 2020 de cada materia prima.** Proyectamos cómo se expondrá cada materia prima a los riesgos climáticos en 2050 basándonos en la producción de 2020. No analizamos cómo las reservas de cada país u otros factores (como la producción de amoníaco para fertilizar los cultivos) pueden afectar a la cantidad de cada materia prima que puede producirse en el futuro. Es posible que sólo se produzcan cambios marginales en el perfil de los futuros productores, dado que muchos de los mayores productores actuales de estos minerales críticos también cuentan con las mayores reservas probadas. Además, las zonas que antes eran menos adecuadas para la producción de una materia prima pueden volverse más adecuadas debido al cambio climático. Por ejemplo, a medida que aumenten las temperaturas medias en Canadá, algunas partes del país se volverán más aptas para el cultivo de maíz.⁷⁰ Además, no podemos predecir el abanico de factores que pueden afectar a los niveles de producción en el futuro, como los cambios en la demanda (por ejemplo, si los nuevos modelos de baterías dejan de necesitar cobalto o litio).

Apéndice 2: Concentración geográfica de la producción de materias primas

Puntos clave

- Al menos el 40% -y hasta el 85%- del suministro mundial de cada materia prima se produce en sólo tres países por materia prima.
- Además, la producción suele concentrarse en lugares concretos dentro de un mismo país. Por ejemplo, sólo 15 mineras produjeron más de la mitad del litio, el cobalto y la bauxita del mundo en 2020. La producción de todos los cultivos clave se concentra en determinadas regiones dentro de los principales países productores.
- Esta concentración geográfica puede aumentar los riesgos para el suministro mundial. Cuanto más concentradas estén las fuentes de una materia prima, mayor será el impacto que una interrupción en un lugar pueda tener sobre el suministro mundial. En este Apéndice se analiza con más detalle la concentración geográfica de la producción de cada una de las nueve materias primas.

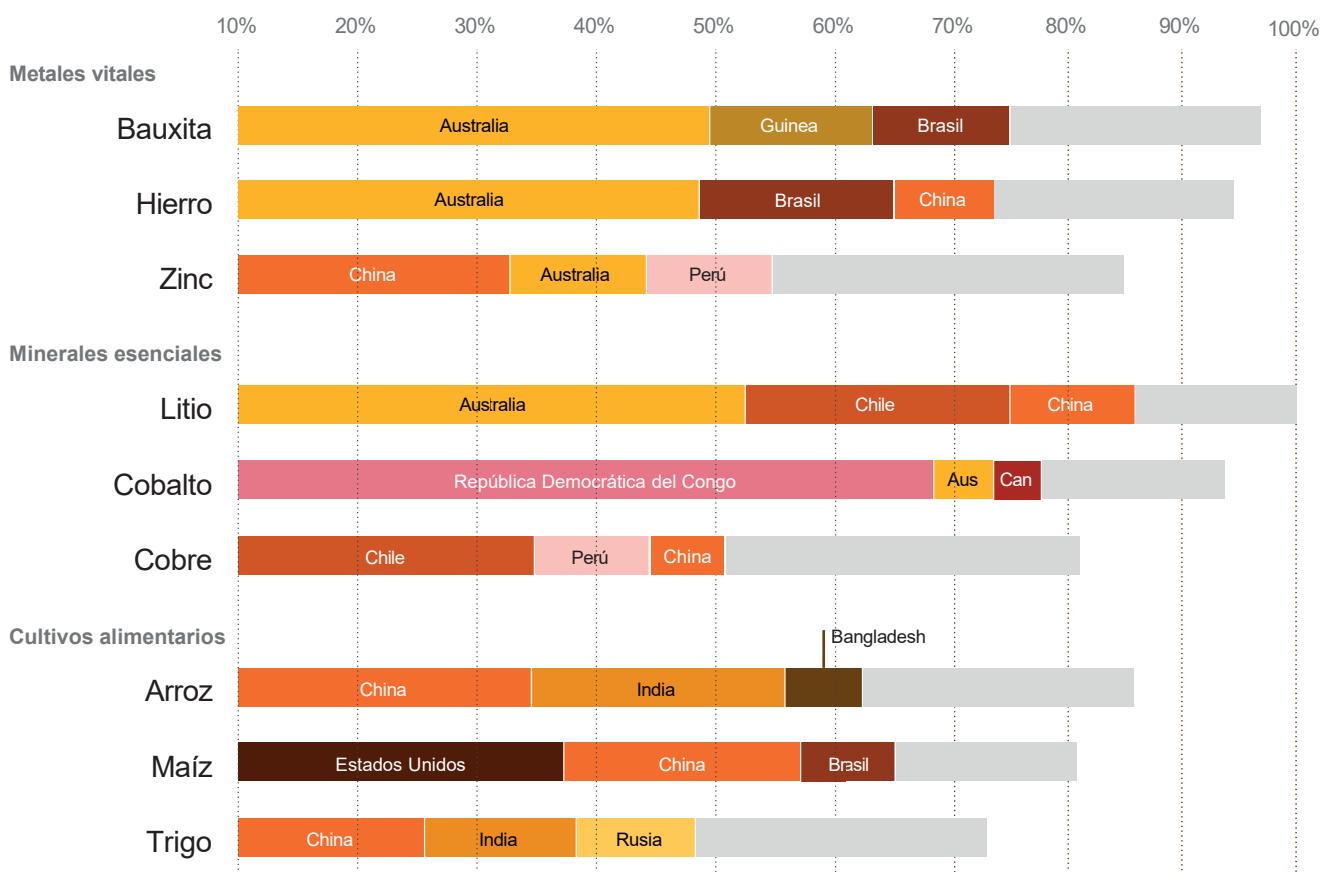
En este Apéndice se analiza con más detalle la concentración geográfica de la producción de cada una de las nueve materias primas.

La producción de las nueve materias primas se concentra en unos pocos países

Sólo un puñado de países, y a menudo regiones específicas dentro de los países, son responsables de gran parte del suministro mundial. En 2020, sólo tres países eran responsables del suministro de al menos el 40% de cada una de las nueve materias primas. Y sólo 10 países producían al menos el 70% de cada materia prima (véase el gráfico siguiente). Esta concentración geográfica podría aumentar los riesgos para el suministro mundial, ya que, al haber menos fuentes de una materia prima, la interrupción de una sola fuente tiene un impacto más significativo en el suministro mundial.

La producción de cada materia prima esencial está altamente concentrada

Porcentaje de la producción mundial (2020)



■ Otros 10 países productores

Fuente: CapIQ, FAO, análisis PwC

Below we examine geographic concentration for each set of commodity.

Metales vitales

En 2020, Australia, Guinea y Brasil produjeron cerca del 70% de la bauxita mundial, metal base del aluminio, y diez países concentraron más del 97% de la producción. El mismo número produjo el 93% del hierro. Australia es el mayor productor mundial de materiales extraídos, con el 45% de la bauxita y el 44% del mineral de hierro. También posee el 20% de las reservas de mineral de hierro, la mayor cuota del mundo. China es el mayor productor de zinc, con cerca del 26% de la producción. Posee el 13% de las reservas de este metal.⁷¹

Minerales esenciales

Entre 2020 y 2022, diez países representaron más del 97% de la producción de litio y más del 93% de la producción de cobalto. Australia representaba el 48% de la producción de litio, mientras que la República Democrática del Congo representaba el 66% de la producción de cobalto y tenía el 43% de las reservas. Chile fue uno de los principales productores de litio y cobre, con un 25% y un 28% de la producción mundial respectivamente.

Una salvedad notable a la concentración de la producción es que algunos países con grandes reservas minerales críticas no las explotan ahora a escala. Cinco países tienen mayores reservas (tanto yacimientos económicamente viables como no viables) de litio que Australia. Argentina, por ejemplo, alberga el 43% de las reservas mundiales de litio.⁷² Si estos países inician la producción, o cuando lo hagan, el riesgo de concentración puede disminuir. De hecho, todavía se están descubriendo yacimientos, incluido un gran depósito de litio en Estados Unidos, encontrado en el verano de 2023.⁷³ Aun así, basándonos en la cartera de futuros proyectos mineros, es probable que la concentración a corto plazo de la producción de minerales críticos permanezca prácticamente inalterada, dados los largos períodos de tiempo necesarios para poner en marcha nuevas minas.⁷⁴

Cultivos clave

La producción de cultivos clave también se concentra en unos pocos países. China e India producen juntas el 52% del arroz, el 32% del trigo y el 25% del maíz del mundo. Dicho esto, la producción de cultivos está más dispersa que la de metales y minerales. En 2020, los países situados fuera de los 10 primeros produjeron el 22% del arroz, el trigo y el maíz del mundo. En cambio, los países situados fuera de los 10 primeros sólo produjeron el 9% de los seis metales y minerales.

La producción mundial de arroz está muy concentrada por regiones. Alrededor del 90% del arroz mundial se cultiva en Asia y una gran proporción (48% del total) se produce en el sudeste asiático, lo que refleja las condiciones favorables de esa región. En total, hay más de 200 millones de explotaciones arroceras en Asia, la mayoría de ellas de menos de una hectárea.⁷⁵

El maíz es el segundo cultivo más extendido del mundo, con una superficie de 197 millones de hectáreas, equivalente a la superficie total de México. En 2020, alrededor de un tercio de las explotaciones agrícolas del mundo se dedicaban a este cultivo, que se utiliza para alimentar tanto a personas como a animales.⁷⁶ A nivel mundial, existe una gran variación en los rendimientos, con rendimientos norteamericanos cinco veces superiores de media a los rendimientos africanos y dos veces superiores a los rendimientos asiáticos. Esto se debe en parte a la comercialización del cultivo de maíz en Norteamérica, que incluye variedades de alto rendimiento y una gestión avanzada de los cultivos.⁷⁷

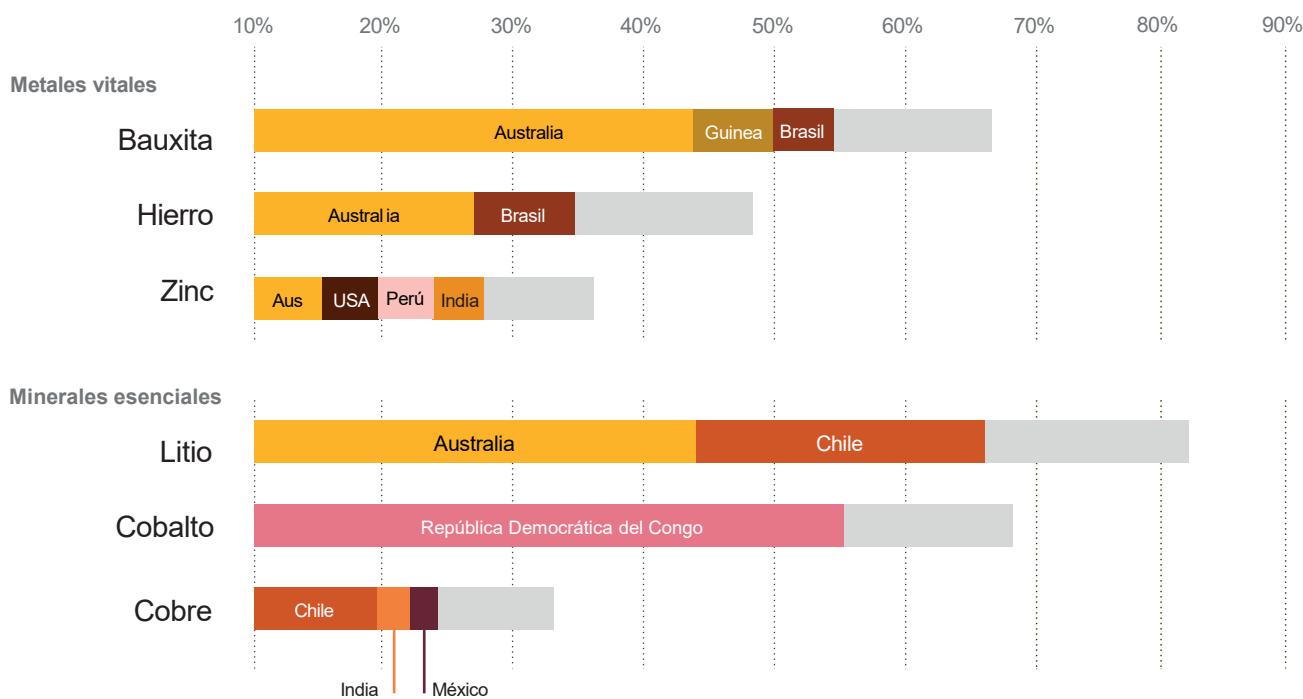
La producción de trigo es la menos concentrada de las nueve materias primas esenciales. 10 países representan el 71% de la producción mundial, siendo China, India y Rusia los mayores productores. El trigo es el cultivo más extendido, con una superficie de 216 millones de hectáreas. Se cultiva en cerca del 20% de las explotaciones agrícolas del mundo.⁷⁸

La producción también se concentra dentro de los países

La producción de las nueve materias primas esenciales no sólo se concentra entre los países, sino también en lugares concretos dentro de cada país. Un puñado de minas produce la mayor parte de los metales y minerales del mundo y unas pocas regiones concentran la mayor parte de los principales cultivos del mundo (véase el gráfico siguiente).

La producción mundial de los seis metales y minerales está altamente concentrada en unas pocas minas

Cada bloque representa una de las 10 minas más importantes de esa materia prima.



Fuente: PwC People and Prosperity at Risk.

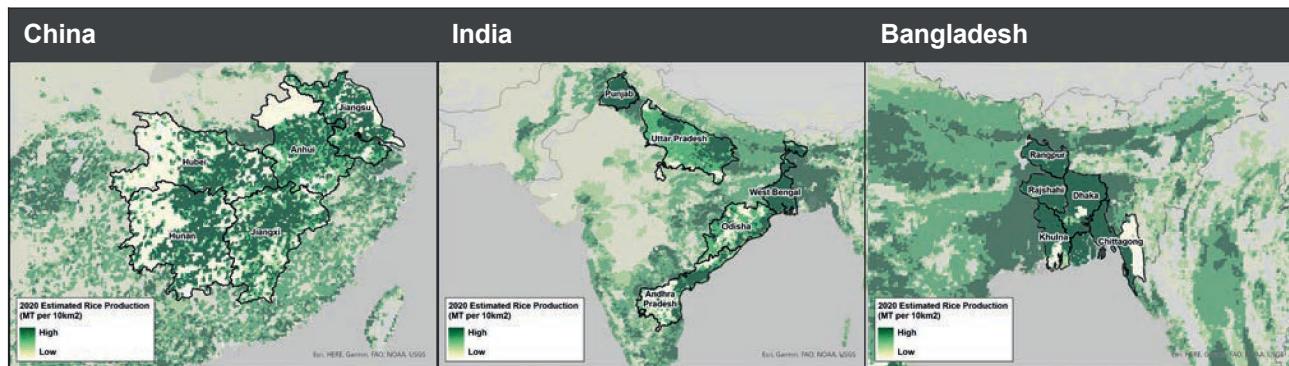
En 2020, sólo cinco minas (todas en la República Democrática del Congo) producían la mayor parte del cobalto mundial. 81% del litio mundial, el 50% de la bauxita y el 44% del hierro procedían de no más de 10 minas.

Algunas de las principales minas productoras están muy cerca unas de otras. En la República Democrática del Congo, cuatro minas, que producen el 47% del cobalto mundial, están situadas a lo largo de un único tramo de carretera de 100 kilómetros. Las dos mayores minas de litio de Chile se encuentran en el Salar de Atacama. Sin embargo, la producción de materias primas está menos concentrada en Australia, donde las mayores minas de litio, bauxita y zinc están repartidas por el oeste y el norte del país.

La producción de la mayoría de los principales cultivos del mundo también está concentrada dentro de los países. Cinco provincias chinas producen más del 50% del arroz del país, a pesar de que sólo ocupan el 8% de la superficie. Del mismo modo, en la India, cinco estados producen el 54% del arroz del país, pero sólo ocupan el 21% de la tierra (véase el primer mapa). En China, India y Bangladesh, las cinco principales regiones productoras suministran conjuntamente casi un tercio del arroz mundial. Mientras tanto, en Estados Unidos, la producción de maíz se concentra en sólo cinco estados (véase el segundo mapa). Las cinco provincias más grandes de China y Brasil producen el 56% y el 68%, respectivamente, del maíz de cada país.

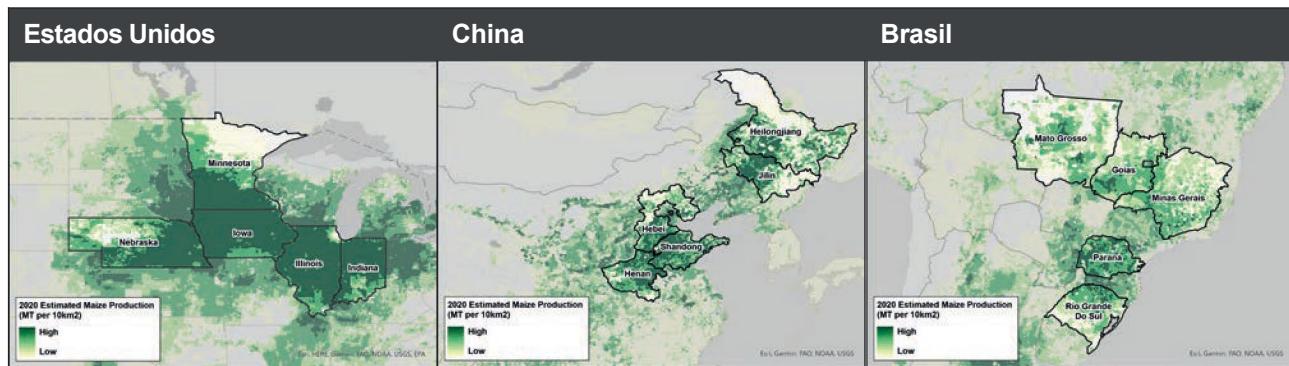
La producción de trigo en China, el mayor productor mundial, está aún más concentrada que la de arroz y maíz (véase el tercer mapa). En 2020, cinco provincias representaban el 75% del trigo del país, o el 13% de la producción mundial. La producción de trigo en la India se concentra principalmente en cinco estados septentrionales, que producen el 85% del trigo del país y representan el 12% del suministro mundial.

La producción de arroz se concentra en un número limitado de regiones de los tres principales países productores de arroz



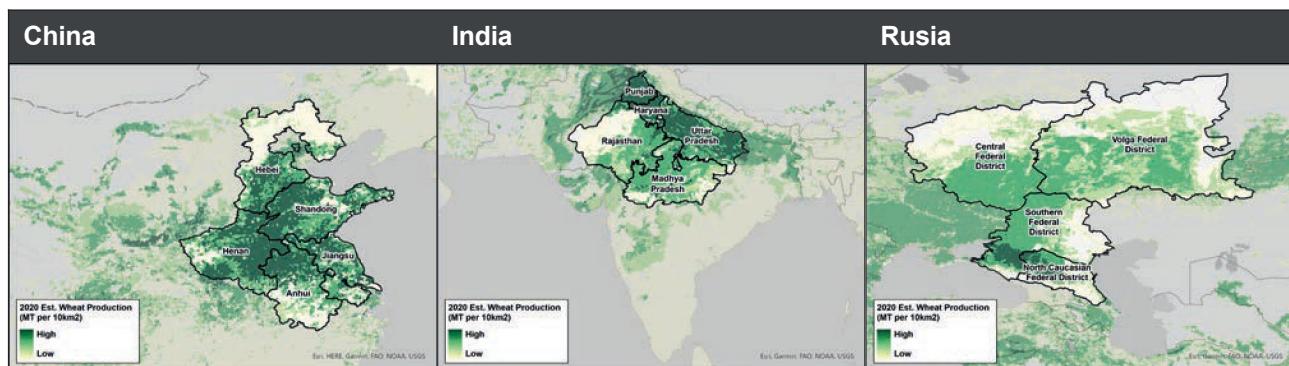
Fuente: IFPRI, FAO, análisis de PwC

La producción de maíz se concentra en un número limitado de regiones en los tres principales países productores de maíz



Fuente: IFPRI, FAO, análisis de PwC

La producción de trigo se concentra en un número limitado de regiones de los tres principales países productores de trigo



Fuente: IFPRI, FAO, análisis de PwC

Apéndice 3: Metodología de modelización climática

Este informe utiliza la Inteligencia Climática Geoespacial de PwC, una plataforma web para evaluar el riesgo climático, para proyectar el riesgo de calor y sequía en zonas productoras de materias primas esenciales. La Inteligencia Climática Geoespacial contiene modelos individuales de riesgos climáticos agudos y crónicos desarrollados por el equipo de modelización de riesgos climáticos de PwC. La investigación y el desarrollo de los modelos corren a cargo de un equipo de científicos y modelizadores con formación doctoral en diversos campos científicos, como la ciencia atmosférica, la hidrología, la geofísica, las matemáticas aplicadas y la ingeniería medioambiental. Los modelos reflejan la metodología y los datos más actuales disponibles en estos campos.

Resumen de los modelos climáticos

os modelos de sequía y estrés térmico utilizados en este informe toman como entradas las condiciones climáticas proyectadas por los modelos de circulación general. Los modelos de circulación general son representaciones matemáticas muy complejas de los sistemas físicos de la Tierra, que se utilizan para simular las condiciones climáticas en diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. Los modelos seleccionados son un subconjunto corregido de sesgos y reducido de los modelos que participaron en la sexta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6, su sigla en inglés) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas⁷⁹. El subconjunto de modelos CMIP6 elegido capta la gama de posibles calentamientos derivados de la incertidumbre de los modelos climáticos en diferentes escenarios de emisiones. Se utiliza el CMIP6 porque representa la última generación de escenarios climáticos y datos de modelos climáticos; y es coherente con el IPCC y los recientes avances en la ciencia climática.

La base de los escenarios del SSP es la tasa de aumento de la temperatura de la superficie terrestre en función de diferentes condiciones sociales y medioambientales. Para ofrecer una representación del abanico de posibles riesgos climáticos futuros, se eligieron los siguientes escenarios: SSP 1-2.6, que representa el escenario más bajo (en lo sucesivo, "emisiones bajas"), y SSP 5-8.5, que representa el escenario más alto (en lo sucesivo, "emisiones altas"). La SSP 1-2.6, conocida como "Sostenibilidad - Tomando el camino verde", describe un mundo que cambia gradualmente hacia una senda sostenible que reduce drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), limitando el calentamiento a menos de ~2 °C para 2100. La SSP 5-8.5, conocida como "Desarrollo Alimentado por Combustibles Fósiles - Tomando la Autopista", representa un futuro en el que el desarrollo económico y social va unido a un uso abundante de combustibles fósiles y a estilos de vida intensivos en materias primas, lo que conduce a un calentamiento de la temperatura de la superficie de 4-5 °C para 2100.

En el análisis climático del estrés térmico, definimos una "línea de base" de valores históricos de estrés térmico (TGBH) (etiquetada como "línea de base" en todo el informe) como una media de 2010 a 2030, centrada en 2020. La media se calcula utilizando tanto datos históricos de reanálisis de 2010 a 2015 (una mezcla de observaciones y datos históricos de modelos climáticos) como datos CMIP6 de 2015 a 2030.

En el análisis de la sequía, hemos representado una línea de base del riesgo histórico de cambio climático (etiquetada como "línea de base") como una media de los datos CMIP6 de 2000 a 2020.

Por lo tanto, la línea de base no es un año, sino una representación histórica de algunas décadas. Todos los pasos temporales prospectivos son un recuento o promedio de un marco temporal de 20 años centrado en el paso temporal. Por ejemplo, el paso temporal de riesgo en 2040 es, de hecho, un recuento o media que representa datos de 2030 a 2050 centrados en 2040.

Metodología del estrés térmico

El calor afecta a las personas que viven al aire libre o en entornos sin aire acondicionado a través de una combinación de temperatura y humedad, que en conjunto describen el estrés térmico al que se ve sometido el cuerpo humano cuando intenta enfriarse a través de la evaporación.

Para captar estos dos componentes críticos del estrés térmico (temperatura y humedad), calculamos y proyectamos la temperatura del bulbo húmedo (TGBH) en condiciones de referencia y en escenarios climáticos de emisiones altas y bajas. La TGBH se calcula diariamente a partir de los resultados del modelo climático, utilizando una metodología científica estándar que combina la temperatura y la humedad medias diarias. El resultado intermedio del modelo es una serie temporal de valores medios diarios de WBGT con una resolución global de 0,5 grados, lo que corresponde aproximadamente a cuadrículas de 50 km x 50 km en el ecuador.

A partir de las proyecciones de TGBH media diaria, calculamos el número anual de días en que TGBH supera temperaturas específicas correspondientes a umbrales de pérdidas de productividad laboral. El estrés térmico se clasifica en los siguientes niveles de riesgo en función de la media diaria de TGBH, donde un lugar se clasifica por el nivel más alto para el que satisface los siguientes criterios:

Significativo: al menos 10 días al año por encima de un umbral medio diario TGBH de 26,3°C

Alto: al menos 10 días al año por encima de un umbral medio diario TGBH de 28,9°C

Extremo: al menos 1 día al año por encima de un umbral medio diario TGBH de 32,2°C

Los umbrales de los niveles de riesgo se seleccionaron en función de su repercusión en la productividad laboral: el riesgo bajo de 25,0 °C corresponde a la temperatura mínima de trabajo a la que se ha demostrado que el estrés térmico afecta a la productividad de los trabajadores, y 32,2 °C corresponde al riesgo extremo. 32,2°C es el riesgo extremo. La relación entre el TGBH y la productividad laboral define una curva en la que la productividad laboral desciende entre un TGBH de 25 °C y 36 °C.⁸² Para este análisis, elegimos límites de temperatura que definen los cuartiles de la misma curva de productividad laboral. Así:

26,3 °C corresponden a una disminución del 25% de la productividad laboral

28,9°C corresponden a una disminución del 50% de la productividad laboral

32,2°C corresponden a una disminución del 75% de la productividad laboral.

Metodología de la sequía

La sequía, en su acepción más general, se refiere a la disminución de la disponibilidad de recursos hídricos. El concepto se refina en diferentes categorías de sequía que dependen de variables hidrometeorológicas y factores socioeconómicos, así como de la naturaleza de las demandas de agua en diferentes regiones del

El modelo de sequía utilizado en este informe se centra en la sequía meteorológica, definida en términos generales como la falta de precipitaciones en una región durante un periodo de tiempo.

Para calcular la gravedad de la sequía meteorológica en un lugar determinado, se evalúa el índice de precipitación-evapotranspiración normalizado (SPEI, su sigla en inglés), que combina valores climatológicos (por ejemplo, temperatura, precipitación) para determinar la magnitud de la sequía. Los resultados del cálculo del índice pueden designarse en severidades de sequía, donde un valor del índice de -1,5 o menos se considera una sequía "severa". Calculamos y proyectamos este índice en condiciones de referencia y en escenarios climáticos de emisiones altas y bajas. El resultado intermedio del modelo es una serie temporal mensual de valores del índice de sequía que representa si un lugar está o no en sequía y, en caso afirmativo, cómo de grave es la sequía. Si un mes cumple la definición de sequía, se cuenta como mes de sequía. A continuación se calcula el porcentaje de meses en sequía a lo largo de un periodo de 20 años. Esto se hace con una resolución global de 0,5 grados, lo que corresponde aproximadamente a cuadriculas de 50 km x 50 km en el ecuador.

El tiempo pasado en sequía define entonces las categorías de riesgo utilizadas en nuestro análisis. Por ejemplo, un riesgo "alto" corresponde al 40% de un periodo de 20 años en sequía (por ejemplo, un 40% en 2050 significa que, en promedio, entre 2040 y 2060, el 40% de los meses experimentarán condiciones de sequía). En particular, el índice tiene en cuenta las condiciones "normales" (o históricas) de cada lugar. A medida que el porcentaje de tiempo en condiciones de sequía grave aumenta al 20%, 40% y así sucesivamente, se asignan categorías de riesgo más altas. La sequía tiene un impacto acumulativo, por lo que un mayor tiempo de sequía grave puede aumentar el impacto en los sectores agrícola y minero.

La gravedad se caracteriza por el tiempo transcurrido en sequía "grave" (valor del índice de sequía igual o inferior a -1,5). Las clases de sequía más altas (significativa/moderada, alta y extrema) corresponden a un porcentaje cada vez mayor de tiempo que los lugares pasarán en condiciones de sequía grave. Por ejemplo, el riesgo "alto" corresponde al 40% de un periodo de 20 años en sequía (por ejemplo, un 40% en 2050 significa que, en promedio, entre 2040 y 2060, el 40% de los meses experimentarán condiciones de sequía).

Bajo: 10% del tiempo en un periodo de 20 años

Significativo/
moderado 20% del tiempo en un periodo de 20 años

Alto: 40% del tiempo en un periodo de 20 años

Extremo: 80% del tiempo en un periodo de 20 años

La exposición de las materias primas mineras y agrícolas que se consideraron se calculó conociendo el peligro de sequía en ese lugar. Esta evaluación se centró en la combinación de temperatura y precipitación necesaria para evaluar este índice de sequía y no se evaluaron los requisitos de temperatura o precipitación necesarios para los estudios de idoneidad de los cultivos.

Apéndice 4:

Metodología de exposición a materias primas críticas

Modelización de la producción de materias primas esenciales en 2020

Este informe calcula qué proporción de la producción mundial de cada materia prima esencial estará probablemente expuesta a diferentes niveles futuros de estrés térmico y sequía. El análisis de este informe se basa en los lugares donde se produjeron las materias primas esenciales en 2020 y evalúa la exposición de esos lugares al estrés térmico y a la sequía en diferentes momentos del futuro. Este enfoque asume implícitamente que la mitigación no tiene lugar durante nuestro horizonte de proyección.

Agricultura

Para estimar la producción agrícola, utilizamos los datos del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI, su sigla en inglés), que ha publicado los Datos Estadísticos de Producción Agrícola Mundial Espacialmente Desagregados (SPAM, su sigla en inglés) para 2010 (versión 2.0). Estos datos proporcionan estimaciones plausibles de la producción mundial de cultivos en cuadrículas de 5 minutos de arco (áreas de aproximadamente 5-10km²areas) en 2003-2005. Para cada cultivo, elevamos la producción estimada de cada celda por la relación entre la producción de cultivos de ese país en 2020 y la producción de cultivos estimada para el país en el conjunto de datos SPAM. Los datos de cultivos por países proceden de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, a la que se accede a través de *Our World in Data*.

Datos agrícolas

Cultivos	Número de centros de producción únicos	Producción total (toneladas métricas, 2020)
Maíz	561.762	1.209.812.938
Arroz	308.425	785.689.921
Trigo	461.997	770.835.393

Fuente: IFPRI SPAM dataset⁸³, OurWorldInData/ UN FAO⁸⁴

Minerales

El conjunto de datos sobre metales y minería de CapIQ muestra la cantidad de cada mineral que se produjo entre 2020- 2022 en 1.532 minas de todo el mundo. Tomamos las cantidades medias de producción de cada mina para el periodo 2020-2022. Esto se hizo para tener en cuenta las volatilidades en la producción y los niveles de producción impulsados por la pandemia COVID-19 y los años anómalos

Minerals data

Materia prima	Number of mines in dataset	Total global production (metric tonnes, 2020-2022 average)
Bauxita	54	224.588.474
Cobalto	63	135.198
Cobre	477	19.578.734
Hierro	478	2.096.229.144
Litio	29	621.156
Zinc	346	9.857.053

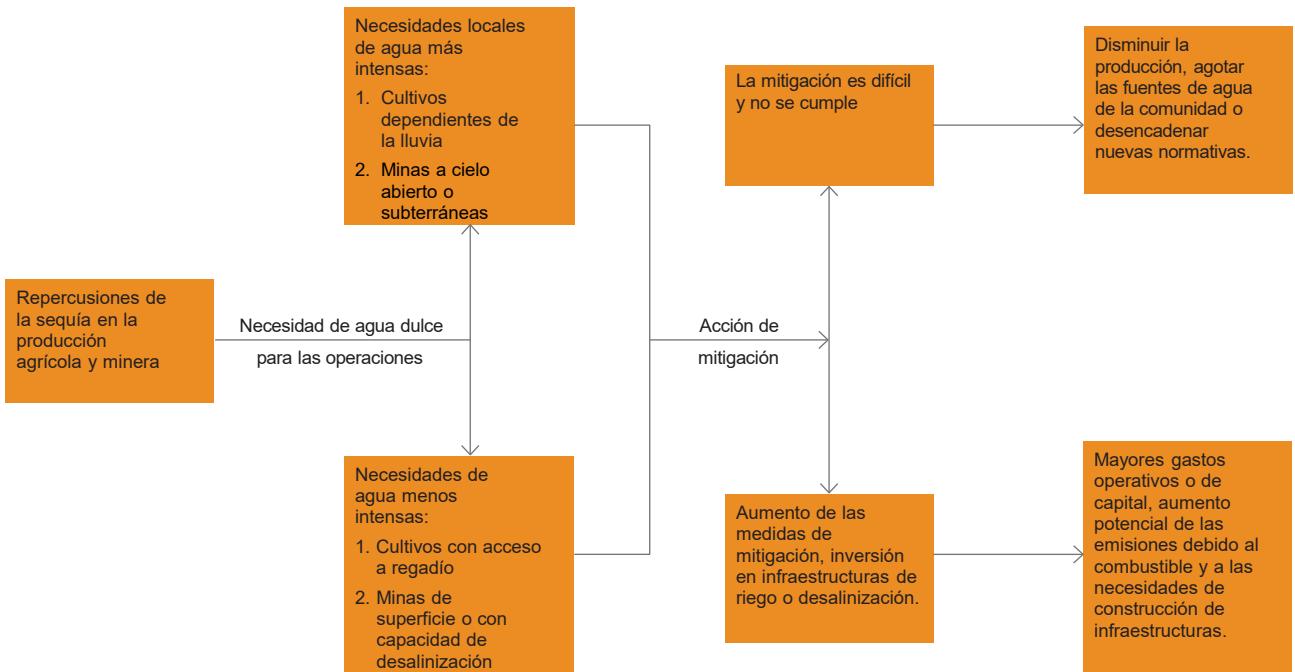
Fuente: S&P Capital IQ Pro Metals & Mining dataset.⁸⁵ De las 1.532 minas, 213 no produjeron ninguno de los seis minerales entre 2020 y 2022. 128 minas produjeron al menos dos de los minerales.

Modelización del nivel de exposición de cada lugar productor de materias primas al estrés térmico y la sequía en 2020, 2035 and 2050

Aquí modelizamos cómo de expuesta estaría cada localidad productora de materias primas al estrés térmico y a la sequía en los años de referencia, 2035 y 2050 bajo dos escenarios climáticos. En el Apéndice 1 se explica la metodología en la que se basa la modelización realizada aquí, incluidos los dos escenarios climáticos diferentes que hemos modelizado.

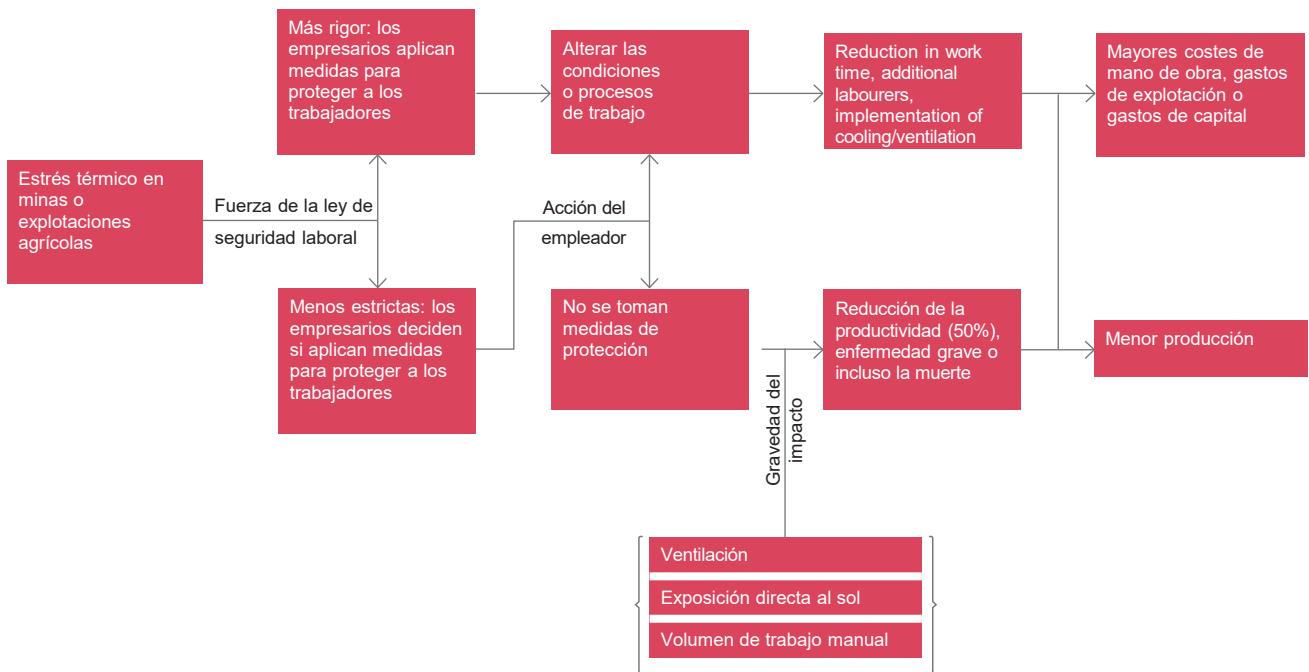
La sección 2 del informe explica en detalle cómo las minas y explotaciones expuestas a niveles altos o extremos de estrés térmico o sequía pueden ver afectada la cantidad que pueden producir. A continuación se sugieren los mecanismos de impacto de cada riesgo.

Mecanismo de impacto de la sequía en la agricultura y la minería



Fuente: ILO, CDC, Atlantic Council, Ananian (2023), análisis de PwC

Posibles efectos del estrés térmico en la minería y la agricultura



Fuente: ILO, CDC, Atlantic Council, análisis de PwC

Modelización de la parte de la producción de materias primas en 2020 expuesta a diferentes niveles de estrés térmico y sequía en 2020, 2035 y 2050 bajo diferentes escenarios climáticos

Para estimar la parte de la producción de cada materia prima que se prevé que esté expuesta a un determinado nivel de estrés térmico y sequía en un determinado año y escenario climático, ponderamos cada emplazamiento por la parte de la producción mundial que representó en 2020 y, a continuación, sumamos la producción de los emplazamientos que se prevé que vean ese nivel de exposición en el año y escenario climático dados.

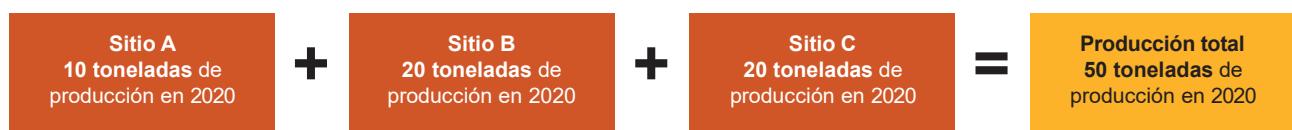
Por ejemplo, para calcular la proporción de bauxita expuesta a altos niveles de riesgo de sequía en el escenario de altas emisiones de 2050, nosotros:

1. Proyectar cuáles de las 54 minas de bauxita estarían expuestas a altos niveles de sequía (según se define en A2.2), en el escenario de emisiones altas.
2. Sumar la cantidad de bauxita producida en 2020 por las minas identificadas en el Paso 1.
3. Dividir esta suma por la cantidad total de bauxita producida en 2020 por las 54 minas del conjunto de datos.

Este enfoque indica la parte de la producción de bauxita que se espera que esté expuesta a altos niveles de riesgo de sequía en 2050 en el escenario de emisiones altas, **suponiendo que el paisaje de producción en 2050 es idéntico al paisaje de producción en 2020.**

La siguiente figura ilustra el método que hemos utilizado para calcular estos resultados a nivel global a partir de las exposiciones individuales de cada uno de los emplazamientos de nuestros conjuntos de datos.

Ejemplo ilustrativo del cálculo de la parte de la producción de 2020 de una materia prima que está expuesta a altos niveles de sequía en 2050 en el escenario climático elevado



1

Paso 1: Identificar qué lugares se prevé que estén expuestos a altos niveles de sequía en el escenario de emisiones altas de 2050. En este ejemplo, supongamos que sólo los sitios A y C estarán expuestos a niveles elevados de sequía en un escenario de emisiones elevadas para 2050.

Sitio A
10 toneladas de producción en 2020 **expuestas a altos** niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

Sitio B
20 toneladas de producción en 2020 **no expuestas a altos** niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

Sitio C
20 toneladas de producción en 2020 **expuestas a altos** niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

2

Paso 2: Calcular el volumen de producción de 2020 de los lugares que se espera que estén expuestos a altos niveles de sequía en un escenario de emisiones altas para 2050.

Sitio A
10 toneladas de producción en 2020 **expuestas a altos** niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

Sitio C
20 toneladas de producción en 2020 **expuestas a altos** niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

30 toneladas de producción en 2020 en lugares que se prevé que estén expuestos a altos niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

3

Paso 3: Dividir la producción expuesta a altos niveles de sequía en el escenario de emisiones altas de 2020 por la producción total de 2020. De este modo se calcula la parte de la producción de 2020 que se espera que esté expuesta a niveles altos de sequía en un escenario de emisiones altas para 2050.

30 toneladas de producción en 2020 en lugares que se prevé que estén expuestos a altos niveles de sequía en un escenario de emisiones altas en 2050.

50 toneladas de la producción total en 2020.

60%
de la producción de 2020 estaría expuesta a altos niveles de sequía en el escenario de emisiones altas de 2050.

Fuente: Metodología PwC

Para calcular la parte de la producción de materias primas de cada país en 2020 que se espera que se vea expuesta a diferentes niveles de riesgos climáticos en cada año y escenario climático, utilizamos el mismo método que el anterior, excepto que sólo incluimos los centros de producción de ese país concreto.

Notas finales

1. Para más información sobre por qué estas nueve materias primas son fundamentales para la economía mundial, véase el Apéndice 1.
2. Sexto Informe de Evaluación del PCC: El escenario de bajas emisiones es IPCC SSP1-2.6 y el escenario de altas emisiones es IPCC SSP5-8.5.
3. Para más información sobre la importancia de estas materias primas para nuestras economías y comunidades, véase el capítulo dedicado al diseño de la investigación.
4. En el Apéndice 1 se explica por qué estas nueve materias primas son fundamentales para la economía mundial.
5. El Apéndice 2 ofrece un análisis más amplio de la concentración geográfica de la producción.
6. La sequía (en concreto, la sequía meteorológica) es definida por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Sequía y la Desertificación como "el fenómeno natural que se produce cuando las precipitaciones han sido significativamente inferiores a los niveles normales registrados, causando graves desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas de producción de recursos de la tierra".
7. El agua en la agricultura, Banco Mundial, 2022.
8. ALIMENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO: Qué significa el Acuerdo de París para las empresas de alimentación y bebidas, OXFAM Documento informativo, 2016.
9. Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, (2010) Un índice multiescalar de sequía sensible al calentamiento global: El Índice Estandarizado de Evapotranspiración por Precipitación - SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
10. Publicación del Centro de Resiliencia de la Fundación Rockefeller, "Extreme heat: The economic and social consequences for the US", 2021.
11. Wetlands International, "World Water Day: The water impacts of lithium extraction", 2023.
12. ScienceDirect: Maíz para alimentos y forraje en África Oriental: la perspectiva de los agricultores. 2013.
13. Maíz para alimentos y forraje en África Oriental, 2013; Informe sobre el avance de las ciencias de la Tierra y el espacio, 2020.
14. Impactos climáticos a corto plazo sobre la productividad de los cultivos alimentarios en África Oriental 2023
15. Red de Sistemas de Alerta Temprana contra la Hambruna, 2023.
16. Science Direct 2020: "Rendimiento en granja y evaluación participativa de los agricultores de nuevos híbridos de maíz tolerantes al estrés en África Oriental".
17. Fosu-Mensah et al. 2012; Bryan et al. 2013; Sofoluwe et al. 2011; Bele et al. 2014.
18. Informe del GCIA: Transformar la agricultura africana.
19. Naciones Unidas: Maíz eficiente en el uso del agua para África.
20. Factores que transformaron la productividad del maíz en Etiopía 2015.
21. "Expansión de plantas desalinizadoras ante la sequía en Chile: cómo la minería se está adaptando a la fuerza" – Intellisense.
22. CNBC: Los precios mundiales del arroz rozan máximos de 12 años y podrían subir aún más.
23. Fuentes: Enfrentarse al estrés hídrico: La industria chilena del litio, bajo la lupa en el desierto de Atacama. Euractiv, 2023; Encuesta Nacional de Plantas Desalinizadoras de Agua de Mar, 2023. Asociación Chilena de Desalinización, Ministerio de Minería, Consejo Asesor Científico sobre el Clima.
24. Cuánto cuesta empezar a cultivar arroz. FinModelsLab; Cosecha injusta: El estado del arroz en Asia. Oxfam, 2019; Programa de mecanización del RCEF. Departamento de Agricultura de Filipinas, 2023.
25. Forbes, Cómo pueden combatir el cambio climático los socios comerciales estratégicos (2023).
26. IEA (2022) "El papel de los minerales críticos en la transición hacia una energía limpia".
27. Foro Económico Mundial (2022) "Esto es lo que el mundo extrajo en 2021 en una infografía".
28. Asociación Mundial del Acero: "El acero en edificios e infraestructuras".
29. Foro Económico Mundial (2022) "El zinc es fundamental para la economía con bajas emisiones de carbono. He aquí por qué".
30. "Papel de los minerales críticos en la transición energética", IEA.
31. NDTA (2023) "Impacto de la limitación del suministro de litio en la base industrial de defensa de EE.UU".
32. Comisión Europea "Materias primas, metales, minerales e industrias basadas en la proyección: materias primas críticas".
33. USGS (2022) "Cien años de producción de cobalto en la República Democrática del Congo".
34. Informe de mercado del Instituto del Cobalto 2022.
35. IEA (2022) "El papel de los minerales críticos en la transición hacia una energía limpia".

36. Informe mundial de S&P 2022, "El futuro del cobre".
37. IEA (2022) "El papel de los minerales críticos en la transición hacia una energía limpia".
38. The Assay (2020) "Metales básicos: Los cimientos de la economía mundial".
39. Estadísticas de producción agrícola 2000-2021. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2022.
40. Seguridad Alimentaria (2022) "Producción, consumo y comercio mundiales de maíz: tendencias e implicaciones para la I+D".
41. Perspectivas Agrícolas OECD-FAO 2023-32
42. Seguridad Alimentaria (2022) "Producción, consumo y comercio mundiales de maíz: tendencias e implicaciones para la I+D".
43. Open Access Government (2021) "El cultivo del arroz: un engranaje vital para garantizar la seguridad alimentaria".
44. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), consultado a través de Our World in Data.
45. Foro Económico Mundial (2022) "Estos son los 10 países que más trigo producen".
46. NIOSH, CDC (2016). Exposición ocupacional al calor y ambientes calurosos.
47. Sexto Informe de Evaluación del IPCC, Capítulo 5: Alimentos, fibras y otros productos de los ecosistemas, 2021.
48. La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2023 será el año más caluroso jamás registrado por un amplio margen" - Noticias ONU enero '24
49. Sexto Informe de Evaluación del IPCC, Capítulo 5: Alimentos, fibras y otros productos de los ecosistemas, 2021
50. OIT, Trabajar en un planeta más cálido: el impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente (2019).
51. OIT, Trabajar en un planeta más cálido: el impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente (2019).
52. CDC. Luginbuhl RC, Castillo DN, Loringer KA [2008]. Muertes relacionadas con el calor entre trabajadores agrícolas: Estados Unidos, 1992–2006. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 57(24):649–653.
53. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de EE.UU., CDC (2016). Exposición ocupacional al calor y ambientes calurosos.
54. CALOR EXTREMO: Consecuencias económicas y sociales para los Estados Unidos. Atlantic Council, Vivid Economics, 2021.
55. H Skjerven,2021. Cómo controlar el estrés térmico en las explotaciones mineras a cielo abierto [Recurso en línea].
56. Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos.
57. NIOSH, CDC (2016). Exposición ocupacional al calor y a ambientes calurosos.
58. Índice de estrés térmico del ejército estadounidense.
59. La sequía (específicamente, la sequía meteorológica) es definida por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Sequía y la Desertificación como "el fenómeno natural que existe cuando las precipitaciones han estado significativamente por debajo de los niveles normales registrados, causando graves desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas de producción de recursos de la tierra".
60. El papel de los minerales críticos en las transiciones hacia una energía limpia, Agencia Internacional de la Energía, 2021.
61. El problema del agua en el litio, Mining Technology, 2021.
62. Cuál es el papel del agua en la minería del litio. 911Metallurgist.
63. Cuánta agua se utiliza para fabricar las baterías del mundo? Danwatch, 2019; Instituto de Investigación Energética "El impacto medioambiental de las baterías de litio".
64. Grewar, T (2019). Opciones de Sudáfrica para la reutilización del agua impactada por las minas: Una revisión. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 119(3), 321-331.
65. Suministro fiable de minerales, IEA.
66. El agua en la agricultura, Banco Mundial, 2022.
67. ALIMENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO: Qué significa el Acuerdo de París para las empresas de alimentación y bebidas, Documento informativo de OXFAM, 2016.
68. Vicente-Serrano S.M., Santiago Beguería, Juan I. López-Moreno, (2010) Un índice multiescalar de sequía sensible al calentamiento global: El Índice Estandarizado de Evapotranspiración por Precipitación - SPEI. Journal of Climate 23: 1696-1718.
69. Por qué se muestra el riesgo de sequía en un periodo de 20 años: El riesgo de sequía se considera mejor en marcos temporales más largos porque una sola sequía puede durar uno o varios años, mientras que en otras ocasiones pueden pasar años sin que se produzca ninguna sequía.
70. Cartas de Investigación Ambiental (2019) Impactos del cambio climático en los rendimientos canadienses de trigo de primavera, canola y maíz para niveles de calentamiento global de 1,5 °C, 2,0 °C, 2,5 °C y 3,0 °C.
71. CapiQ (2021) Metales y minería
72. CapiQ (2021) Metales y minería
73. El descubrimiento de litio en un volcán de EE.UU. podría ser el mayor yacimiento jamás hallado.
74. IEA (2022) - El papel de los minerales críticos en las transiciones hacia una energía limpia.
75. Reportaje fotográfico de la ONU: "Confiamos en el arroz".
76. Seguridad alimentaria mundial (2021) - Estimación del número y distribución mundial de explotaciones de maíz y trigo.
77. Seguridad alimentaria (2022) - Producción, consumo y comercio mundiales de maíz: tendencias e implicaciones para la I+D.
78. Seguridad alimentaria mundial (2021) - Estimación del número y la distribución mundial de las explotaciones de maíz y trigo.
79. Eyring et al. (2016) "Visión general del diseño experimental y la organización de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6)".
80. Hausfather (2018) "Explicador: Cómo las 'vías socioeconómicas compartidas' exploran el cambio climático futuro".
81. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático "Sexto informe de evaluación".
82. Vivid Economics (2021) "Calor extremo: las consecuencias económicas y sociales para la metodología de Estados Unidos".
83. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, 2019, "Datos estadísticos sobre la producción mundial de cultivos desagregados espacialmente para 2010 Versión 2.0".
84. Our World in Data, 2020. Producción agrícola.
85. S&P Global Market Intelligence
86. El impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente, OIT, 2021 NIOSH, CDC (2016). Exposición ocupacional al calor y ambientes calurosos CALOR EXTREMO: Las consecuencias económicas y sociales para los Estados Unidos. Atlantic Council, Vivid Economics, 2021.

Agradecimientos

PwC desea agradecer a las siguientes personas su análisis y experiencia:

Propietarios del proyecto

Will Jackson-Moore, Líder Global de Sostenibilidad, Socio, PwC UK

Emma Cox, Líder Global de Clima, Socio, PwC UK

Renate de Lange, Líder Global de Mercados Sostenibles, Socio, PwC Países Bajos

Asesores

Lit Ping Low, Socio de Sostenibilidad y Cambio Climático para Asia-Pacífico, PwC Hong Kong

Bram de Graaff, Director de Análisis de Políticas y Evaluación de Impacto, Sostenibilidad Corporativa y ESG, PwC Medio Oriente

Olesya Hatop, Directora Global de Energía, Servicios Públicos y Recursos, PwC Alemania

Gunther Duetsch, Servicios de Sostenibilidad y Cambio Climático, Socio, PwC Alemania

Rachel Watson, Sostenibilidad, Director, PwC UK

Will Evison, Director de Estrategia Global de Sostenibilidad, Clima y Naturaleza, PwC UK

Reid Morrison, Director de Asesoría Energética Global, PwC US

Jeremy Prepscious, Sostenibilidad en Asia-Pacífico, Cadenas de suministro sostenibles, Director General, PwC Hong Kong

Robert Moline, Consultoría, Socio, PwC US

Daniel O'Brien, Sostenibilidad y Cambio Climático, Socio, PwC Canadá

Kevin O'Connell, Líder de Sostenibilidad de Trust Solutions, Socio, PwC US

Duangsuda Sopchokchai, Economía y Política, Director, PwC Canadá

Reem Hamzeh, Cambio Climático, Director, PwC Canadá

Alexandra Colallilo, Gerente, PwC Australia

Fabio Pereira, Centro de Excelencia de Agronegocios, Director, PwC Brasil

Mauricio Moraes, Líder del sector de Agronegocios, Socio, PwC Brasil

Harald Dutzler, Strategy&, Socio, PwC Austria

Debbie Smith, Auditoría, Socio, PwC Australia

Rita Li, Socia, PwC China

Jon Chadwick, Plataforma Global de Sostenibilidad - Responsable de Transición Energética, PwC Australia

Equipo de investigación: Equipo de riesgo climático de PwC US

Steve Bochanski, Líder de Modelización de Riesgo Climático, Socio, PwC US

Yoon Hui Kim, Servicios de Modelización de Riesgo Climático, Principal, PwC US

Robert Bernard, Servicios de Modelización de Riesgo, Director, PwC US

Barbara Wortham, Servicios de Modelización de Riesgos/Cambio Climático, PwC US

Doug Kerwin, Líder Global del Pilar de Riesgo y Resiliencia en el Centro de Sostenibilidad de PwC, PwC US

Zane Martin, Analista de Cambio Climático, PwC US

Jeremy Block, Analista de Cambio Climático, PwC US

Ginny Crothers, Analista de Cambio Climático y Desarrolladora, PwC US Peyton

Sanborn, Asociado de Riesgo Climático, PwC US

Equipo de investigación: Equipo de macroeconomía de PwC UK

Barret Kupelian, Economista Jefe, PwC UK

Sida Yin, Economista, Strategy&, PwC UK

Hugh Myers, Economista, Strategy&, PwC UK

Adam Ursell, Consultor Económico Asociado, Strategy&, PwC UK

Tash Danby, Embajadora de Marca, PwC UK

Wilfred Rutter, Consultor económico en prácticas Strategy&, PwC UK

Desarrollo de contenidos

Sarah Brown, Desarrollo de contenidos, Directora, PwC UK

Josh Rosenfield, Director Editorial, PwC UK



pwc.com/climaterisks

©PwC. Reservados todos los derechos. PwC se refiere a la red de firmas y/o una o más de sus firmas miembro, cada una de las cuales es una entidad legal separada. PricewaterhouseCoopers Consultores, Auditores y Compañía Limitada es una empresa chilena, miembro de la red.

En PwC, nuestro propósito es generar confianza en la sociedad y resolver problemas importantes. Somos una red de firmas en 151 países con más de 360.000 personas comprometidas con la calidad de nuestros servicios de auditoría, asesoramiento y fiscalidad. Descubra más y díganos lo que le importa visitándonos en www.pwc.cl.