



WORLD  
RESOURCES  
INSTITUTE



Energy  
Transitions  
Commission

INFORME TEMÁTICO

# Un camino a través del Rift

*Informe sobre las transiciones energéticas africanas  
identificando problemas críticos y necesidades de datos*

Sebastian Sterl (WRI), Rebekah Shirley (WRI), Rose Dortch (ETC), Min Guan (ETC), Adair Turner (ETC)

WRI.ORG



Resumen Ejecutivo	3
El debate sobre la transición energética en África y nuestro enfoque	5
¿Son las fuentes de energía renovable variable (VRE, por sus siglas en inglés) realmente la opción más rentable para generar electricidad en África subsahariana?	7
¿Es la entrega de servicios de energía con base en recursos renovables un ejercicio comercialmente viable en África subsahariana? ¿Cuáles son los factores impulsores claves de la viabilidad comercial?	12
¿Cómo se puede proporcionar mejor un servicio a los sectores tradicionalmente no electrificados (p. ej., cocción, transporte e industria)? ¿Habrá un rol necesario para el petróleo y el gas en estos sectores?	14
Dadas las señales actuales y futuras de los mercados internacionales, ¿cuáles son las oportunidades y los riesgos en las exportaciones de vectores energéticos desde África subsahariana?	16
Conclusión	20
Apéndice: Demanda sectorial de combustible fósil y proyecciones de emisiones en África subsahariana	22
Notas finales	23
Referencias	24

*El informe temático se enfoca en cuestiones de política y extrae con claridad las implicancias de la evidencia existente para los tomadores de decisiones.*

VERSIÓN 1.0, JULIO DE 2023.

**Cita sugerida:** Sterl, S., R. Shirley, R. Dortch, M. Guan, A. Turner. 2023. "Un camino a través del Rift: Informe sobre las transiciones energéticas africanas identificando problemas críticos y necesidades de datos". Informe temático. Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiales. Disponible en línea en: <https://doi.org/10.46830/wriib.22.00136es>

## PUNTOS IMPORTANTES

- La oportunidad de bajas emisiones de carbono se reconoce ampliamente en África, pero aún existe una necesidad urgente de desarrollar visiones claras para el futuro de los sistemas eléctricos y energéticos de África y de lo que será necesario para ponerlas en práctica.
- El cuerpo de análisis sobre las transiciones energéticas africanas continúa aumentando, pero le resulta difícil influir en la toma de decisiones debido, en parte, a la baja resolución, a la contextualización limitada, a una amplia brecha entre ciencia y política y a una apropiación limitada o inexistente.
- El debate sobre las transiciones energéticas africanas tanto entre las partes interesadas locales como internacionales está cada vez más polarizado, al hacer que haya poco espacio para la discusión de temas claves con base en hechos, como el rol de los combustibles fósiles.
- Existe una necesidad urgente de garantizar que las decisiones sobre las transiciones energéticas africanas hoy estén informadas por análisis claros y objetivos, desarrollados, de manera ideal, a nivel de país.



## RESUMEN EJECUTIVO

### El debate sobre el futuro energético de África

**El debate acerca del crecimiento necesario de los sistemas energéticos de África y el rol futuro de los combustibles fósiles en el contexto de la transición energética global se ha polarizado.** Las discusiones sobre las transiciones energéticas africanas se caracterizan por narrativas reduccionistas, puntos de vista divergentes y búsquedas bien intencionadas pero desacertadas de soluciones universales. Como resultado, los objetivos climáticos, de diplomacia y de desarrollo podrían verse en riesgo. Las instituciones líderes de África en este debate han expresado en forma clara la necesidad urgente de información y evidencias.

**El rol de África en la transición energética global es único, ya que es el continente menos electrificado con la población en más rápido crecimiento.** Hacer posible la prosperidad para esta población en crecimiento mediante el acceso expandido a formas modernas de energía e industrialización requerirá que, como mínimo, se triplique el suministro de energía para 2030, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA 2022a). Por lo tanto, los sistemas energéticos del continente, que hoy están subdesarrollados y cuyos recursos son en extremo insuficientes, requieren mucha atención.

**Con aproximadamente 80 GW de capacidad instalada, la capacidad del sistema energético subsahariano es menor a un cuarto de la de India.** Por lo tanto, las transiciones energéticas africanas tienen que ver menos con alejarse de los combustibles fósiles que con expandir de manera rápida la generación de energía de maneras confiables, resilientes y asequibles que sean compatibles con el clima y que garanticen el acceso para todos. Dado que cada país de África tiene un punto de inicio diferente (Mulugetta et al. 2022), las hojas de ruta energéticas para los países de África no pueden tener una narrativa única, aunque, a menudo, se las presenta así.

**Las transiciones energéticas africanas y el rol de los combustibles fósiles, como el gas, se ha tornado en un debate polarizado debido a los siguientes múltiples factores que caracterizan a las transiciones energéticas africanas:**

- La dificultad para obtener inversiones de la comunidad financiera internacional para aumentar el uso de las energías renovables en el continente
- Los desafíos de generar grandes cantidades de electricidad mediante recursos renovables intermitentes en un contexto de sistemas de energía débiles
- El desafío de electrificar una flota de vehículos mayormente de segunda mano y un sector de hogares que depende en gran medida de la biomasa tradicional

- La explotación histórica relativamente baja de los recursos de combustibles fósiles del continente en comparación con los países del Norte Global (lo que resulta en puntos de vista divergentes con respecto a la legitimidad de imponer transiciones energéticas en los países de África)
- La agenda de industrialización en crecimiento del continente, que requiere de materias primas que no tienen aún sustitutos viables bajos en carbono

**Las interacciones al estilo de debate tienden a reducir temas complejos que requieren un diálogo con matices a puntos de discusión o argumentos de alto nivel.**

Dichos argumentos pueden ser ideológicamente simples de comprender, pero se arriesgan a no poder proporcionar las evidencias sustanciales necesarias para una buena toma de decisiones. Frente a un vacío de información integral y digerible, las narrativas reduccionistas se arriesgan a predeterminedar las opciones de África (Mulugetta et al. 2022). Es necesario mitigar con urgencia el riesgo. Las decisiones y políticas sobre transiciones energéticas que se determinen ahora tendrán peso en el futuro, con implicancias a corto y a largo plazo para las trayectorias económicas, las asociaciones internacionales, la confianza y el multilateralismo, y, además, las posibilidades de que millones de personas alcancen la prosperidad.

### Acerca de este informe temático

**Las instituciones líderes de África en este debate, como la Comisión de la Unión Africana y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para África (UNECA, por sus siglas en inglés), han expresado en forma clara la necesidad urgente de información y evidencias** (Comisión de la Unión Africana 2021; UNECA 2020). En respuesta a este llamamiento, el WRI África y la Energy Transitions Commission (ETC) formaron una asociación para la investigación focalizada y el compromiso de alto nivel. El WRI África y la ETC reconocen la necesidad de incorporar una base de hechos en las discusiones y de enfatizar las preguntas fundamentales sin respuesta que los tomadores de decisiones deben tener en cuenta al formular perspectivas holísticas con respecto a las vías de transición.

**Este informe temático revisa los análisis disponibles sobre las transiciones energéticas africanas para sacar a la luz las preguntas abiertas fundamentales que requieren respuestas para permitir que se formulen políticas con base en la ciencia.** Mediante esta revisión, identificamos un grupo de preguntas abiertas y, todavía, sin responder sobre las transiciones energéticas africanas, en particular en lo que respecta a África subsahariana (SSA, por sus siglas en inglés), fuera de Sudáfrica.

## Preguntas abiertas que se deben responder

**Las preguntas abiertas que se identificaron tienen que ver con temas claros a nivel financiero, técnico y económico.** Estos temas van de proyectos individuales al sector de la electricidad, al sector energético más amplio y a toda la economía.

- ¿Cuál es el costo real de las tecnologías de generación de electricidad renovable, al tener en cuenta el costo relativamente alto del capital en SSA, y qué significa esto para las mezclas de electricidad de costo óptimo?
- ¿Cómo podrían las redes eléctricas en SSA mejorar su estabilidad más allá de los niveles actuales (a menudo inadecuados), expandir el acceso a la electricidad y absorber altos porcentajes de energías renovables variables?
- ¿Cómo puede la demanda de electricidad crecer de manera sostenible para evitar el exceso o la falta de suministro, en un contexto de cifras altas de consumidores futuros con facturas bajas de electricidad que esperan ser conectados?
- ¿Cuáles son las vías posibles hacia el acceso universal a la energía limpia, hacia flotas de transporte limpias y hacia una industrialización limpia?
- ¿Qué efectos tienen las fuerzas de los mercados globales sobre los países que todavía dependen, o esperan desarrollar, economías de combustibles fósiles en un mundo en vías de descarbonización, y cuáles son las alternativas ecológicas que existen?

## Conclusiones claves

**Encontramos que la documentación científica hasta el momento ha proporcionado respuestas insuficientes, lo que provoca una brecha entre los resultados de la investigación y lo que los formuladores de políticas en SSA necesitan para planificar una transición energética limpia.** Un problema general sobresale en SSA: La mayor parte de la investigación publicada se realiza a nivel continental, casi sin tener en cuenta las vías a nivel de país que serían más útiles para los formuladores de políticas en todo el continente



africano. Si persiste este enfoque sobre el nivel continental, las narrativas reduccionistas y las búsquedas desacertadas de soluciones universales continuarán complicando el debate sobre las transiciones energéticas africanas.

### **Observamos diferencias entre los modelos claves que informan actualmente el debate y la realidad en el terreno.**

Nuestro enfoque ayuda a identificar puntos ciegos en la investigación, incertidumbres en las suposiciones y variables de alta sensibilidad en las vías de transición. Dichos conocimientos llevan a una secuencia de acciones claras "sin arrepentimientos" sobre las cuales parece haber un consenso y, de manera opuesta, a brechas en la evidencia que requieren acciones urgentes con respecto a los próximos pasos.

- Las proyecciones de la escala y el ritmo de la expansión de la energía limpia en cada país africano dependerán de variables como el costo de capital, los flujos de inversión y los niveles de refuerzo de la red. Los modelos existentes a menudo subestiman estas variables importantes y contribuyen a argumentos enfrentados entre las partes interesadas, y dejan a los resultados de la investigación abiertos a la interpretación y a críticas.
- Las tecnologías cada vez más viables que podrían compensar la necesidad de combustibles fósiles en la industria (p. ej., en el acero y los fertilizantes) requieren una investigación más profunda. Al mismo tiempo, se deberán reconocer los límites de alternativas limpias en la cocción, fabricación de cemento y transporte para lograr procesos de planificación de una transición energética arraigados en la realidad.
- En última instancia, las mejores proyecciones de demanda futura sugieren que una mayor explotación de los recursos de petróleo y gas de África no "sobrepasará el presupuesto global de carbono", como algunos sugirieron (Goldstone 2021). Sin embargo, existen preguntas importantes con respecto al riesgo financiero asociado con una expansión de la infraestructura del petróleo y el gas en diversos países africanos en el contexto de un mundo en vías de descarbonización. Además, las tendencias internacionales sugieren que podrían pasar a ser factibles flujos comparables de generación de ingresos de la expansión de hidrógeno ecológico y minerales críticos para muchos países africanos, lo que hace necesario el análisis de los escenarios de cada país y una intensificación de la transferencia de tecnología.

Nuestro objetivo es que esta síntesis pueda informar en forma directa a los debates y diálogos en curso, y así ayudar a desactivar áreas de desacuerdo mediante una presentación objetiva e imparcial.

## EL DEBATE SOBRE LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS AFRICANAS Y NUESTRO ENFOQUE

### Por qué las transiciones energéticas africanas tienen características únicas

En el contexto de la planificación para transiciones hacia energías limpias, el continente africano ocupa una posición única: Tienesimultáneamente la demanda en más rápido crecimiento de formas modernas de energía y las tasas más bajas de acceso a esas mismas formas modernas de energía (IEA 2022c). La tasa de crecimiento poblacional de África es más del doble del promedio mundial, con aproximadamente el 2.5 por ciento anual (ONU 2022), pero el acceso a la electricidad es de solo el 43 por ciento y el acceso a formas de cocción limpias es de meramente el 17 por ciento (IEA 2022b). Estas tendencias son particularmente prominentes en SSA, con la excepción notable de Sudáfrica. Cualquier vía de crecimiento debe, por lo tanto, partir de la base de que el uso de electricidad y energía per cápita en África crecerá, y deberá hacerlo de manera rápida para alcanzar un nivel varias veces superior al actual.

El término *transición* es, quizás, poco apropiado. La palabra implica un cambio de un sistema existente de una condición a otra, pero ¿y si aún se debe desarrollar la mayor parte del sistema? Más que una *transición*, la mayoría de los países de SSA están a puntodeexperimentar una considerable y muy necesaria *expansión* del sistema energético.

El desafío, por lo tanto, no es lograr un cambio en el uso de combustibles fósiles sino un desarrollo del crecimiento de energía limpia para crear economías con bajas emisiones de carbono.

Las vías de la energía en todo el continente africano se caracterizan por su multidimensionalidad. La energía en SSA está intrínsecamente vinculada a preguntas acerca de las agendas de industrialización (que los mercados avanzados, en su mayoría, ya han logrado en base a combustibles fósiles), una mejora en la salud pública (a menudo relacionada con la prevalencia de la cocción con base en biomasa tradicional), el logro de salud financiera para las compañías eléctricas (actualmente la excepción y no la norma), un aumento en la velocidad de electrificación (dado que el crecimiento poblacional históricamente ha superado al crecimiento en el acceso a electricidad), y otras.

Estas características únicas de los sistemas energéticos en SSA tienen consecuencias para la planificación a corto y largo plazo, y han resultado en puntos de vista y enfoques divergentes. Esta divergencia se puede observar en la disparidad entre los escenarios sobre las transiciones energéticas africanas que han desarrollado diversas organizaciones confiables africanas y no africanas en los últimos años.

### Puntos de vista divergentes sobre las transiciones energéticas africanas

A nivel global, se acepta ampliamente que el camino hacia un uso de energía que resulte en descarbonización se basará en la electrificación masiva de los usos finales, junto con un crecimiento de la infraestructura para generar y transportar electricidad desde fuentes con baja emisión de carbono (principalmente energía solar fotovoltaica y energía eólica), y en el desarrollo de combustibles alternativos en sectores difíciles de electrificar, como la industria pesada (por ejemplo, hidrógeno verde) (Eurelectric 2018; IRENA 2017, 2018a, 2022a; IRENA y State Grid Corporation of China 2019).

El continente africano, que cuenta con los mejores recursos solares y, en menor medida, eólicos del mundo (Sterl et al. 2022), está, por lo tanto, bien posicionado para hacer crecer sus sistemas energéticos con base en altas porciones de recursos renovables desde el principio (Sterl 2021a, 2021b). En teoría, muchos países de SSA son, básicamente, terreno virgen para la planificación de sistemas de electricidad con base en recursos renovables y sectores de uso final electrificados. El análisis reciente del African Energy Outlookde la Agencia Internacional de la Energía (IEA 2022a) y el World Energy Transitions Outlookde la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA 2022c) corroboran este punto de vista. Los informes demuestran que la mayoría, si no todos, los países africanos podrían y deberían hacer rápidamente la transición a sistemas eléctricos con base en energías renovables y minimizar el crecimiento de nueva infraestructura de combustibles fósiles. Algunos líderes políticos se han pronunciado en el mismo sentido; por ejemplo, los dos últimos presidentes de Kenia han afirmado el objetivo de realizar una transición a energía 100 % limpia para 2030 (Kuhudzai 2022).

Sin embargo, otras organizaciones, expertos y líderes políticos argumentan que África debería hacer lo contrario y enfocarse en el desarrollo de sus recursos sustanciales de petróleo y gas para la industrialización y las ganancias por exportación, y (en el caso del gas) la generación de energía. Este punto de vista ha sido propagado, entre otros, por la Cámara Africana de Energía (AEC 2020), la Corporación Financiera Africana (AFC 2022), y UNECA (Al-Zu'bi et al. 2022; UNECA 2020). Estas instituciones consideran que el gas deberá desempeñar un papel fundamental en los sistemas energéticos domésticos y que las exportaciones de petróleo y gas podrían proporcionar los tan necesarios ingresos de las exportaciones a países con reservas disponibles. Varios líderes políticos, como los presidentes de Senegal y Níger, se han hecho eco de la idea de que los países africanos le deberían dar la bienvenida a más inversiones en infraestructura para combustibles fósiles (Koc et al. 2022) (*Le Figaro* 2022). Sin embargo, parte del reciente entusiasmo sobre las exportaciones de petróleo y gas se produjo después de la invasión ilegal de Ucrania por

Rusia, cuando parecía que Europa podía estar en peligro de desabastecimientos agudos de gas. Sin embargo, los países europeos pudieron manejar reducciones sin precedentes en la demanda de gas, y reemplazaron al suministro ruso con alternativas (no africanas) antes del inicio del invierno (Comisión Europea 2023).

El debate sobre fósiles versus recursos renovables representa una de las muchas divergencias, incertidumbres y puntos ciegos en las vías de las transiciones energéticas africanas OK, accept. Otros ejemplos incluyen diferencias no tenidas en cuenta entre el costo de capital entre países (Agutu et al. 2022), la vista gorda con respecto a las necesidades de reforzar la red, la simplificación típica de África como un agrupamiento de países similares con circunstancias comparables, y la ausencia de proyecciones creíbles de crecimiento de la demanda. En el Recuadro 1 se proporcionan algunos dichos claves de poca ayuda sobre las transiciones energéticas africanas. Dada la falta generalizada de estudios de modelización energética que se enfoquen en cada país de SSA en forma individual (la mayoría de los países de SSA no tienen ni un solo estudio revisado por pares sobre el tema de la descarbonización del sistema energético dedicado a ellos, (Oyewo et al. 2023), y los estudios existentes a menudo no son cocreados con las partes interesadas locales) existe el peligro de que estos dichos de poca ayuda dominen los debates sobre la formulación de políticas a expensas de información con base en la ciencia.

## Enfoque y métodos

Revisamos estudios existentes sobre las vías energéticas para las economías africanas para identificar las principales preguntas abiertas que requieren respuestas y armonizar los puntos de vista polarizados sobre las transiciones energéticas en África. El alcance de la revisión cubrió documentación académica y gris, siendo esta última, por lo general, de organizaciones internacionales como IEA, IRENA y el Banco Mundial. Los estudios revisados datan, en su mayoría, de la última década, durante la cual el tema de la transición energética ocupó un puesto alto en la agenda internacional. Nos enfocamos principalmente en estudios que utilizaron modelos de optimización de costos para desarrollar vías para las transiciones energéticas africanas.

La revisión se enfocó en identificar las principales preguntas abiertas con respecto a cuestiones en las transiciones energéticas africanas que son relativamente específicas del contexto africano. Estos desafíos incluyen tasas bajas de acceso a la electricidad, baja confiabilidad de los sistemas eléctricos existentes, baja base de capacidad instalada, altas tasas de crecimiento esperado de demanda energética, bajos puntos de inicio en términos de demanda de energía en transporte e industria, y alto uso de biomasa tradicional en los hogares.

### RECUADRO 1

#### Clichés de poca ayuda sobre la transición energética en África

Las visiones de la transición energética en África están plagadas de romanticismos inútiles, de narrativas simplificadas en exceso, de búsquedas desacertadas de soluciones mágicas universales, de afirmaciones contradictorias y de puntos de vista paternalistas. A continuación se proporcionan algunos ejemplos.

##### Visiones romantizadas

"(...) muchos comentaristas ahora creen que África está lista para (...) salteándose décadas de gastos en infraestructura y creando un sistema de energía renovable y fuera de las redes."—DWF Group

"Sol, viento, grandes ríos y volcanes ancestrales. Todos en abundancia. La África de energía renovable es una tierra llena de potencial."—Enel Green Power

##### Soluciones mágicas

"Si alguna vez se construye, la [Gran presa de Inga en la RDC] generaría (...) suficiente para iluminar a Sudáfrica, el país más industrializado del continente."—The Economist

"Un informe nuevo sugiere que África podría suministrar a todo el mundo una energía asequible baja en carbono, en la forma de hidrógeno."—WEForum

##### Afirmaciones contradictorias

"Para minimizar los efectos adversos del cambio climático, se necesita de energía hidroeléctrica para mejorar la resistencia de África al cambio climático."—IEA

"La energía hidroeléctrica de África es particularmente vulnerable al cambio climático debido a su sensibilidad a la disponibilidad del agua, la cual, a menudo, está restringida."—IEA

##### Paternalismo

"El futuro (...) para África es uno de energía verde. El continente tiene 'uno de los mejores potenciales de energía renovable del mundo' en combinación con un consumo de energía relativamente bajo."—EURactiv

Fuentes: DWF Group 2018; Enel Green Power 2018; The Economist 2017; EURactiv 2022; IEA 2020b; WEForum 2022.



## Cuatro preguntas principales

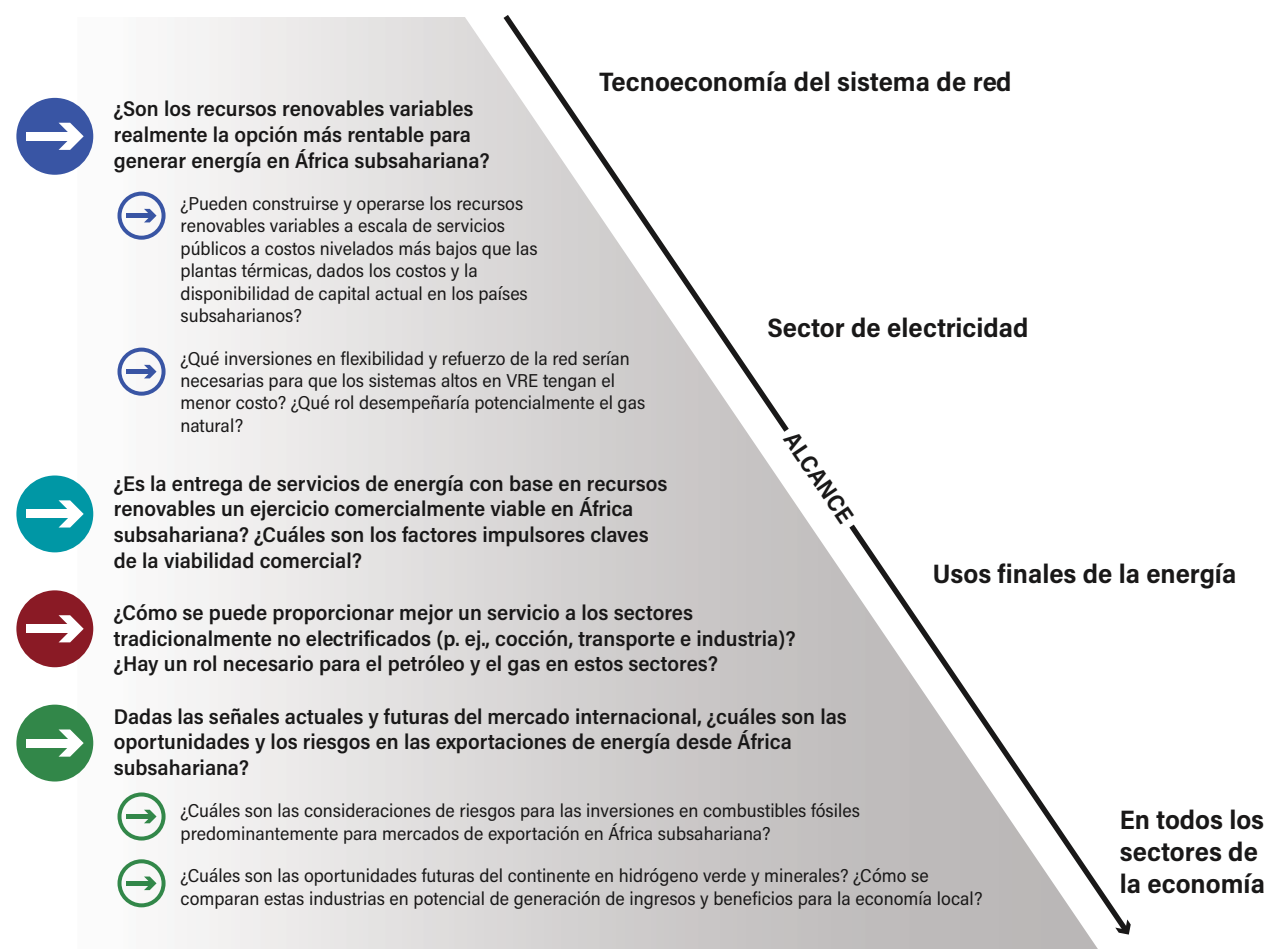
Identificamos varias escalas principales de preguntas abiertas, desde -tecnoeconómicas a nivel de proyecto y de red, a través de perspectivas de demanda de energía eléctrica y no eléctrica, hasta el rol de los productos energéticos en el mercado exportador (Figura 1). Esto nos permitió organizar las incertidumbres claves sobre las transiciones energéticas africanas en una estructura sucinta que incluye cuatro preguntas generales.

El resto de este informe se estructura bajo cada una de las cuatro preguntas. Se plantean las posiciones existentes, se explican los puntos de vista en desacuerdo y se los examina para encontrar preguntas abiertas, y se sintetizan las áreas de consenso emergente para indicar decisiones sin arrepentimientos.

## ¿SON LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE VARIABLE (VRE, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) REALMENTE LA OPCIÓN MÁS RENTABLE PARA GENERAR ELECTRICIDAD EN ÁFRICA SUBSAHARIANA?

Al principio, evaluamos las opciones de los países africanos para expandir la generación y el suministro de electricidad. En los últimos años se ha observado un cambio en el paradigma al pensar sobre el rol potencial de los recursos VRE, es decir, aquellos cuyo rendimiento depende de las condiciones meteorológicas, como la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Anteriormente se creía que los sistemas energéticos necesitaban una carga de base sustancial de plantas con grandes generadores sincrónicos y no podían

Cuatro áreas principales de cuestionamiento que son críticas para desarrollar una perspectiva sobre las opciones para la transición energética en África



Fuente: Autores.

FIGURA 1

absorber niveles de VRE superiores al 10 o 20 por ciento, pero evidencias recientes de países como Alemania, Portugal, Dinamarca y Uruguay demostraron lo contrario (IRENA 2015). Ahora existen múltiples ejemplos de sistemas de redes que han aumentado, de manera progresiva, su parte promedio de VRE e incluso funcionan al, o cerca del 100 por ciento de VRE durante períodos prolongados. Esto muestra que la carga base podría ser un concepto desactualizado y que más bien necesitamos planificar sistemas con suficiente *flexibilidad* (IRENA 2018a; Lovins 2017). El consenso emergente es que los sistemas altos en VRE se podrían equilibrar bien con una combinación de centrales gestionables (despachables) y soluciones de almacenamiento (Bogdanov et al. 2019; Gulagi et al. 2022; Jacobson y Delucchi 2018; Ram et al. 2019).

Con respecto a los aspectos económicos, existe un consenso general de que, a nivel global, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica están muy en camino a desplazar a los combustibles fósiles y a la energía hidráulica como las tecnologías más baratas para generar electricidad (IRENA 2022b). El bajo costo de la generación de energía a menudo se mide mediante el costo nivelado de la electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés): el costo por unidad de generación de electricidad que los intermediarios deberían pagar a un desarrollador de proyectos para que el proyecto cubra los gastos durante todo su ciclo de vida. Este LCOE, en promedio a nivel mundial, ha caído un 90 por ciento para energía solar fotovoltaica, un 67 por ciento para eólica en tierra y un 60 por ciento para eólica marina durante la última década (IRENA 2022b), alcanzando valores hacia el extremo inferior, o por debajo, del rango típico para la generación de energía con base en combustibles fósiles. Es probable que los costos continúen cayendo a mediano plazo, a pesar de posibles aumentos a corto plazo vinculados a, por ejemplo, cuellos de botella en la cadena de suministros (BNEF 2022). La investigación emergente también parece sugerir que los sistemas eléctricos con base principalmente en VRE para África son soluciones técnicamente concebibles y económicamente atractivas (Barasa et al. 2018; Bogdanov et al. 2019; Sterl y Thiery 2022). Si bien relativamente pocos países se han embarcado con éxito en vías agresivas hacia una mayor integración de VRE, algunos ejemplos recientes ofrecen panoramas positivos. Uruguay, por ejemplo, pudo hacer crecer la porción de VRE en su sistema eléctrico de casi cero a casi el 50 por ciento entre 2013 y 2020 (IEA 2020a).

Dado que África cuenta con unos de los recursos renovables de mejor calidad del mundo, una narrativa común actual es que África podría "dar el gran salto" o "desviarse" de la era de combustibles fósiles para ir directamente a sistemas basados en energías renovables (véase el Recuadro 1). ¿Pero puede hacerse realidad? Si bien la investigación antes citada parece implicar que, en teoría, podría funcionar, hay criterios importantes que no se tuvieron en cuenta en muchos estudios de modelización que determinan la realidad.

Por ejemplo, mientras que la calidad del recurso en combinación con los costos de tecnología en disminución es un buen punto de inicio, hay otros factores que contribuyen a determinar el costo real de la tecnología. Una pieza que

falta en el análisis es si los costos de capital (que reflejan los riesgos que los potenciales inversores consideran aceptables y que son un factor en el cálculo de cualquier LCOE) para proyectos de VRE en SSA se reflejan de forma precisa en las vías propuestas y cómo esto afecta la competitividad de las plantas de energía solar fotovoltaica y eólica. Otra pieza que falta tiene que ver con la necesidad de reforzar la red, dado que muchas redes de energía en SSA actualmente sufren problemas de estabilidad *incluso sin* una penetración sustancial de VRE. Ambos puntos se abordan de la manerasiguiente.

## ¿Pueden construirse y operarse las VRE a escala de servicios públicos a costos nivelados más bajos que las plantas térmicas, dados los costos y la disponibilidad de capital actual en los países subsaharianos?

Es tentador asumir que la generación de VRE sería más barata en SSA que en muchas otras partes del mundo, dado que África recibe los niveles más altos de irradiación solar de todos los continentes (Atlas Solar Global 2020), que varias regiones tienen recursos eólicos excelentes (Grupo del Banco Mundial 2020) y que (en teoría) hay mucha tierra disponible que podría alojar plantas de energía solar y eólica sin competir con otros usos de la tierra (Sterl et al. 2022).

Sin embargo, las estimaciones de LCOE dependen de manera crucial de suposiciones acerca del costo de capital, también denominado Costo de capital promedio ponderado (WACC, por sus siglas en inglés) (Agutu et al. 2022). El LCOE, por lo general, considera gastos de capital por adelantado (CAPEX), costos de operación y mantenimiento (OPEX) y costos de combustible. Los proyectos solares y eólicos suelen tener CAPEX altos. La mayoría de los costos se incurren por adelantado en inversión de capital, con bajos costos operativos posteriores y cero costo de combustibles. En esto, los proyectos solares y eólicos difieren de manera crucial de las plantas de energía de combustible fósil. Por consiguiente, los LCOE de energía solar fotovoltaica y energía eólica son mucho más sensibles a aumentos en el costo de capital que los LCOE de plantas a base de combustible fósil (Egli et al. 2019; Sweerts et al. 2019).

La mayoría de los estudios de modelización energética en África no reflejan el amplio rango de costos de capital que se observan y, algunas veces, asumen costos de capital más bajos que los comunicados para cada país en particular. El Escenario de África sostenible (Sustainable Africa Scenario) de la IEA (IEA 2022a) asume un WACC de 7 por ciento, e IRENA asume 10 por ciento de forma general en varios de sus estudios enfocados en África (IRENA 2018b, 2021b); y si bien un documento científico reciente sobre las vías de la energía en África asumió una disminución del WACC a lo largo del tiempo, no consideró las diferencias entre países (Oyewo et al. 2022). Sin embargo, los valores estimados de WACC pueden diferir mucho entre países. Recientemente,



IRENA publicó los WACC reales estimados a nivel de país con base en una herramienta de evaluación comparativa calibrada mediante encuestas y entrevistas (IRENA 2023b). Los valores se encuentran en un rango del 1 al 20 por ciento en los países desarrollados y en desarrollo, pero, de manera crucial, en solo del 1 al 5 por ciento en la mayoría de las economías desarrolladas. Un documento científico reciente (Agutu et al. 2022) corrobora esta disparidad y encuentra un rango de WACC del 2.6 al 18.5 por ciento en África subsahariana. Por lo tanto, según el contexto específico de cada país, el LCOE real para las VRE podría mantenerse sustancialmente más alto en algunos países africanos que el LCOE para plantas con base en combustibles fósiles, a pesar de que las cifras en muchos países del Norte global ya favorecen las VRE.

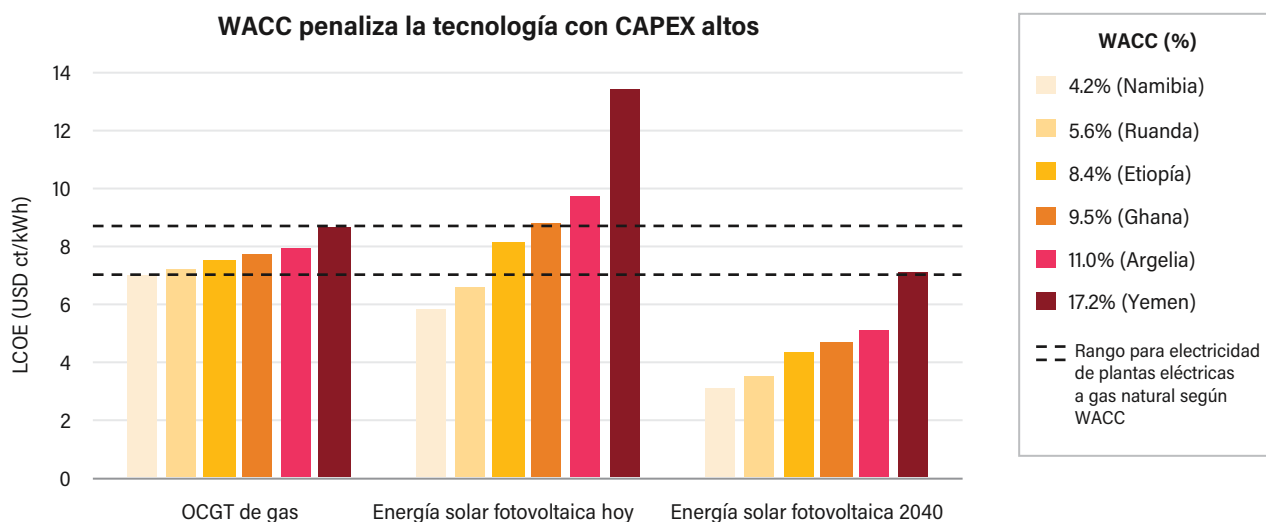
Proporcionamos ejemplos a modo de ilustración mediante las estimaciones de WACC de IRENA para varios países africanos en Figura 2. Incluso si se asumen disminuciones continuas y fuertes en el CAPEX y OPEX de las plantas de energía solar fotovoltaica, no hay garantía de que la energía solar fotovoltaica será más barata que las plantas de gas natural antes de 2040 en países donde el costo del capital es muy alto, como los países que padecen conflictos en curso. (Utilizamos a Yemen como ejemplo de uno de estos países en ausencia de ejemplos africanos en la base de datos de IRENA).

Los valores de WACC divergen a nivel de país debido a los riesgos percibidos con relación a la estabilidad política en general, los entornos de políticas para inversiones, la coherencia de las estrategias de planificación del sector energético de los países, la capacidad del estado para implementar, los intereses creados, la corrupción y el riesgo monetario (con préstamos e inversiones en valores que, por lo general, se realizan en monedas utilizadas en intercambios internacionales, pero con flujos de ingreso en moneda local). En otras palabras, cuando los proyectos enfrentan muchos de estos riesgos, estos se reflejan en el costo de capital que se proporciona a los inversores (IRENA 2022b).

Por lo tanto, una hipótesis razonable es que la energía solar y eólica podrían y deberían ser fuentes de electricidad de costo más bajo que la de combustibles fósiles en la mayoría de los países de SSA, pero solo si se puede reducir el costo del capital mediante la eliminación adecuada de riesgos. Las medidas más adecuadas de eliminación de riesgos pueden diferir entre países; de ahí la importancia de encontrar visiones compartidas sobre las políticas, de reformas de gobernanza, de inversiones o incentivos o garantías públicos, de transparencia de los datos, y otras opciones que ayudarían a reducir los valores del WACC. Dicha dinámica financiera, por lo general, no se considera en los análisis de modelización de las transiciones energéticas africanas realizados por agencias internacionales ni en la literatura académica.

## CAPEX-la tecnología pesada, como la energía solar fotovoltaica, está penalizada bajo el WACC en aumento en comparación con el gas natural

FIGURA 2



Notas: Aquí, comparamos plantas de turbinas de gas de ciclo abierto (OCGT, por sus siglas en inglés) con plantas de energía solar fotovoltaica a costos de 2020 ("hoy") y a costos proyectados para 2040 bajo diferentes valores de WACC según IRENA.

Fuentes: Todos los valores en CAPEX, OPEX, y costos de combustibles se toman de IRENA (2021b) y se expresan en dólares estadounidenses 2015; utilizamos los costos de combustible de 2015 para el gas natural de la misma fuente. Otros supuestos incluyeron un ciclo de vida de 35 años para plantas de OCGT y un ciclo de vida de 30 años para energía solar fotovoltaica (Oyewo et al. 2022), un 40 % de eficiencia y un factor de capacidad promedio de 50 % para plantas de OCGT, y un factor de capacidad promedio de 19 % para plantas de energía solar fotovoltaica. (El factor de capacidad [CF, por sus siglas en inglés] de la energía solar fotovoltaica difiere de un país a otro, aunque, por lo general, por unos pocos puntos porcentuales como máximo [Sterl et al. 2022]). Los valores de WACC representan las cifras reales de 2021 (ajustadas por la inflación) para energía solar fotovoltaica a nivel de país por país, y se las tomó de IRENA (2023b).



La cantidad de capital disponible tendrá la misma importancia que el costo. Los flujos financieros totales per cápita que apoyan el desarrollo de sistemas eléctricos en SSA son actualmente mucho más pequeños que los que se observan en otros países en desarrollo: menos de \$25 en 2019, en comparación con aproximadamente \$170 en India y Bangladesh (SE4ALL y CPI 2021). Los flujos de inversión anuales promedio tanto de fuentes privadas como internacionales en el acceso a la electricidad y cocción limpia en el continente africano están actualmente solo alrededor de la décima parte de lo que sería necesario para lograr el acceso universal en 2030 (IEA 2022a).

Por otra parte, los fondos públicos y privados para inversiones en combustibles fósiles podrían pasar a estar restringidos, ya que las economías desarrolladas buscan garantizar que sus compromisos para reducir las emisiones domésticas no se compensen con financiación de tecnologías con altas emisiones de carbono en otros lugares. Las principales instituciones financieras del sector privado que han fijado objetivos de cero neto buscan reducir el financiamiento de combustibles fósiles y serán cada vez más reacios a financiar proyectos de combustibles fósiles en SSA (UNFCCC 2021). El compromiso anunciado del G7 de interrumpir "nuevos apoyos públicos directos para el sector de la energía de combustibles fósiles a nivel internacional" es otro ejemplo (*TheEconomic Times India* 2022). Esta tendencia hacia una disponibilidad decreciente de financiamiento para los proyectos de combustibles fósiles podría parcialmente contrarrestar la penalización de WACC altos en tecnologías de VRE.

Los compromisos de limitar las inversiones en combustibles fósiles deberán, de todas maneras, ir acompañados de fuertes compromisos de proporcionar financiamiento suficiente y asequible para sistemas de VRE si las VRE han de ser una ruta factible y de bajo costo para un crecimiento rápido del sistema de electricidad.

¿Qué inversiones en flexibilidad y refuerzo de la red serían necesarios para que los sistemas altos en VRE tengan el menor costo?

¿Qué rol desempeñaría potencialmente el gas natural?

El costo de la generación instalada es solo uno de los componentes de los sistemas eléctricos. La generación de electricidad debería ser no solo barata, sino también confiable. Y aquí es donde la "V" de VRE entra en juego: El sol no brilla siempre y el viento no sopla siempre. Sin importar cuán bajo sea el LCOE de una planta de energía solar fotovoltaica, la planta será de poco uso durante la noche.

Se debe equilibrar el suministro y la demanda de electricidad en todo el rango de tiempo: desde equilibrar la frecuencia y la tensión a escala de segundos hacia garantizar la adecuación del suministro de electricidad a toda hora, en todas las estaciones y años. Afortunadamente, la academia ya estudió de manera rigurosa la dinámica por hora, estacional e interanual de generación de energía de VRE en África. Emerge un punto de vista en donde la energía solar fotovoltaica con almacenamiento mediante batería podría convertirse en la columna vertebral de los sistemas de energía de SSA (Barasa et al. 2018; Bogdanov et al. 2019; Oyewo et al. 2022). La energía solar podría ser respaldada por energía eólica e hidroeléctrica flexible, donde estén disponibles (Oyewo et al. 2020; Sterl et al. 2020, 2021) (con sinergias elegantes por hora y estacionales, en muchos casos). El gas sería un combustible de transición donde no haya otras opciones disponibles, ayudado por el impulso a mayores interconexiones regionales, principalmente mediante uniones regionales de compañías de electricidad nacionales (Power Pools) y el diseño de un Mercado Único de Electricidad de África (AfricanSingleElectricityMarket) (Unión Africana 2021; IRENA 2018b, 2021b; Sterl 2021a; Wu et al. 2017). Sin embargo, los análisis académicos disponibles, por lo general, no incluyen análisis y tendencias de flujo de potencia para disimular la cuestión de la estabilidad de la red.

Las operaciones de sistemas eléctricos del mundo desarrollado ya han experimentado muchas épocas en las que las VRE proporcionan casi el 100 por ciento de la electricidad (EEA 2017), lo que demuestra que los desafíos de equilibrar a muy corto plazo a penetración alta de VRE son técnicamente manejables. Sin embargo, esta evidencia proviene de países que ya tienen redes adecuadas a gran escala con suficiente flexibilidad. En SSA, muchos países trabajan con redes de energía pequeñas y, a menudo, no confiables.

La construcción de plantas de VRE en el mundo desarrollado, con redes adecuadas como punto de partida, les permite a los países avanzar gradualmente de porciones pequeñas a grandes de VRE, al preparar el sistema y al aumentar la flexibilidad a medida que se avanza. Cuando se implementó el primer grupo de plantas de VRE en muchos países, su impacto

en la estabilidad fue insignificante a nivel del sistema; los efectos estaban localizados, por ejemplo, en los puntos de conexión de la red de la planta (IEA 2020c). A medida que las proporciones de VRE aumentaron, los países podían, por lo general, recurrir a recursos flexibles existentes antes de alcanzar niveles que requirieran medidas de flexibilidad más avanzadas (p. ej., mediante almacenamiento y respuesta a la demanda).

De manera opuesta, en muchos países de SSA con puntos de partida bajos de generación de energía, la implementación de plantas de VRE a escala de servicios públicos requerirá que los sistemas eléctricos atraviesen las diferentes etapas de integración de VRE considerablemente más rápido. Una planta de energía solar fotovoltaica de un tamaño dado resultaría en un salto más grande en la proporción de VRE en la red de energía de, digamos, Níger (con una capacidad existente de unos pocos cientos de MW) que en los Países Bajos (con solo el 70 por ciento de la población de Níger pero con varias decenas de GW instaladas). Además, incluso las proporciones de VRE de aproximadamente el 10 por ciento pueden resultar en problemas en redes pequeñas con una inercia baja sin medidas adicionales adecuadas como incluir el almacenamiento en baterías como un componente estándar de las plantas de energía VRE (Chen et al. 2020). Por otra parte, las redes de muchos países africanos presentan problemas de confiabilidad incluso en ausencia de una alta alimentación de VRE (J.T. Lee y Callaway 2018).

De nuevo, debemos enfatizar la importancia del contexto de cada país. En algunos países africanos, en especial en aquellos con una base fuerte de generación hidroeléctrica (p. ej., Etiopía), las redes podrían tener ya suficiente inercia y flexibilidad existentes para permitir un escalamiento de la integración de VRE relativamente rápido sin causar (ni exacerbar) los problemas de estabilidad (Sterl et al. 2021). Otros requerirían refuerzos sustanciales o interconexiones con países vecinos antes de que dichos escalamientos puedan ser factibles (Sterl 2021a).

Las estrategias de refuerzo de la red son sumamente necesarios para que se garantice que las redes eléctricas en expansión en SSA pueden absorber altos niveles de VRE, y los análisis existentes no han identificado aún los costos adicionales y cómo difieren por país. Durante la última década, solo el 0.5 por ciento de la inversión en sistemas eléctricos africanos han ido a la transmisión (el 99.5 por ciento fue a la generación). La IEA sugiere que la transmisión podría requerir una proporción tan alta como el 40 por ciento, y hace énfasis en la necesidad urgente de un cambio importante en la asignación de inversiones (ESI África 2022, IEA 2022a). Investigación reciente de la ETC sugiere que las necesidades podrían ser incluso más grandes para África subsahariana y que una transición de cero neto requeriría que cada unidad de inversión en generación de electricidad se iguale con 1.5 unidades de inversión en la red (ETC 2021a).

Si bien la necesidad de inversión sustancial en la red aplicará tanto a la construcción de una red con base en combustibles fósiles como a una con base en recursos renovables, la

naturaleza específica de las VRE tiene un rango de impactos en los sistemas eléctricos cuyas consecuencias para la planificación de expansión de la red difiere de aquellas de los combustibles fósiles (Heptonstall y Gross 2021). El aspecto positivo de esta falta de inversión histórica en infraestructura de redes es que muchos países africanos tienen ahora una oportunidad única de construir redes con base en VRE desde el inicio, dado que la dependencia de infraestructura con base en combustibles fósiles todavía es limitada (Sterl 2021a).

Es fundamental un análisis a nivel de país para identificar cómo las necesidades de expansión, refuerzo, flexibilidad y estabilidad de la red de sistemas con alta penetración de VRE se podrían cubrir mejor; cuáles serían los costos; y hasta qué punto sería necesario el gas como un combustible de transición a corto y mediano plazo si se proporcionan diversos servicios auxiliares (Mulugetta et al. 2022). Actualmente es difícil encontrar dicho análisis a nivel de país para SSA, y muchos países no tienen ni un solo estudio académico sobre transiciones de energía limpia dedicados a ellos (Breyer et al. 2022; Oyewo et al. 2023). Hasta el momento, la investigación se enfocó en proporcionar imágenes a nivel del continente sobre las vías óptimas de transición energética (Barasa et al. 2018; Ouedraogo 2017; Taliotis et al. 2016).

Recientemente, organizaciones como IRENA y el Organismo Internacional de Energía Atómica han salvado esta brecha con estudios dedicados, por ejemplo, para Gabón (IRENA 2021a; Anvane-Obame et al. 2019) y Níger (IRENA 2021c), pero incluso estos estudios no cubrieron las escalas de tiempo relevantes para frecuencia y estabilidad de tensión. Si bien es cierto que, históricamente, los operadores del sistema solían realizarlos estudios de estabilidad de la red, en lugar de la comunidad académica, no parece haberse realizado el vínculo entre los estudios de expansión de la capacidad y los estudios de estabilidad de la red en la mayoría de los análisis sobre la expansión de los sistemas eléctricos a nivel de país en África citados anteriormente. El peligro es que las conclusiones sobre las necesidades de reforzar la red se realicen de manera prematura.

## Síntesis

Los recursos renovables abundan en África y, teóricamente, deberían ser de bajo costo. La alta penetración de las VRE en los sistemas eléctricos es técnicamente factible, como lo demuestran diversos países en todo el mundo; y sería de costo óptimo priorizar las VRE en la expansión de los sistemas eléctricos, como sugiere gran parte de la documentación científica sobre los países africanos y no africanos. Sin embargo, muchos factores importantes en el terreno (riesgo de inversión que afecta el costo del capital, redes existentes débiles que requieren un refuerzo sustancial para poder absorber incluso porcentajes bajos de VRE, y falta de inversión en la expansión de red en comparación con construcción de plantas eléctricas), crean una brecha importante entre la transición energética que sugiere la literatura y la realidad de la mayoría de los países africanos. Los modelos existentes a menudo subestiman estas variables importantes.



Los países africanos necesitarán formas específicas de apoyo financiero para eliminar los riesgos para las inversiones públicas y privadas, al apalancar a nivel doméstico y por la comunidad internacional tanto en generación de energía como en refuerzo y construcción de las redes, para hacer realidad todo el potencial técnico que las tecnologías de energía limpia ofrecen. Salvo que se lo haga realidad pronto, las transiciones energéticas en África podría fracasar (Alova et al. 2021).

## ¿ES LA ENTREGA DE SERVICIOS DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES UN EJERCICIO COMERCIALMENTE VIABLE EN SSA?

### ¿CUÁLES SON LOS FACTORES IMPULSORES CLAVES DE LA VIABILIDAD COMERCIAL?

Los sistemas de electricidad con base en renovables para los países de África subsahariana requerirán grandes montos de inversión por adelantado en generación e infraestructura para transportar la electricidad. Dado que el retorno sobre estas inversiones eventualmente provendrá de las facturas de electricidad que paguen los usuarios finales, tanto a nivel de los hogares como a nivel comercial o industrial, existe un fuerte vínculo entre la demanda de electricidad para uso final y las inversiones en el sistema de electricidad. Los modelos de expansión del sistema de energía, por lo general, asumen cierta demanda exógena y estiman la cartera óptima de tecnologías para cubrir esta demanda. Pero, como planteamos aquí, para países de SSA con una demanda latente importante, esto deja varias preguntas importantes sin respuesta.

La generación de electricidad per cápita actual en SSA, que se estima en 200 kWh/cápita/año, es sumamente baja en comparación con los estándares internacionales, y las proyecciones de IRENA e IEA pronostican un aumento asolo 500 a 700 kWh/cápita/año para 2030, incluso bajo supuestos de acceso universal para los hogares (IEA 2022a; IRENA 2020). Para fines de comparación, la generación anual per cápita actual es de aproximadamente 5400 kWh en China y de aproximadamente 1100 kWh en India (OurWorld in Data 2022). Por lo tanto, las proyecciones para África asumen que la mayoría de los usuarios finales permanecen en niveles muy bajos de consumo de electricidad una vez que se logra el acceso, y que los clientes comerciales e industriales son relativamente pocos y pequeños.

Las encuestas de las compañías de electricidad indican que una de las barreras claves para mejorar el acceso a la electricidad es el costo de conectar a los clientes a la red (PwC AfricaPower y Utilities Sector Survey 2015).

En situaciones en las que grandes cantidades de hogares tienen bajos niveles de consumo de energía, el costo de conectarlos podría ser prohibitivo, ya que existe el riesgo de que no se recuperen los costos mediante las facturas de electricidad dentro de plazos viables (K. Lee et al. 2016). En otras palabras, la conexión a la red de clientes con facturas de electricidad bajas presenta el riesgo de no ser un ejercicio financieramente viable para las compañías africanas de electricidad.

En consecuencia, aquellas compañías dependen en gran medida de una pequeña cantidad de clientes comerciales e industriales (C&I) para mantenerse financieramente a flote. Esto afecta su capacidad de reinvertir en la conservación y refuerzo de la red y en la capacidad bancaria de proyectos de generación de energía a escala comercial, cuyo intermediario sería la compañía eléctrica. Muchas compañías de electricidad en SSA no están en buena situación financiera (Trimble et al. 2016; Twesigye 2022): En 2018, solo un tercio de aquellas compañías podía recuperar sus costos de operación y de servicio de deuda, y la pandemia de la COVID-19 exacerbó esto aun más (Balabanyan et al. 2021).

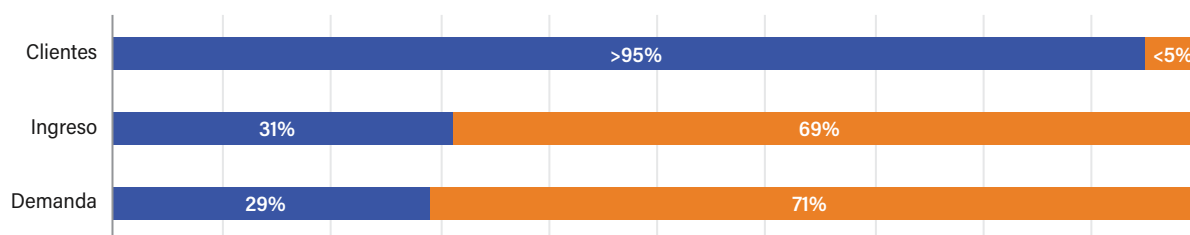
La dependencia financiera que tienen esas compañías del segmento de clientes C&I en SSA significa que es fundamental hacer crecer este segmento para que proporcione los ingresos necesarios para invertir en fortalecimiento y expansión de las redes. Y, si bien la situación de una cantidad relativamente pequeña de clientes que apoyan la base de ingresos de los servicios públicos no es exclusiva de los países de África subsahariana (Figura 3), existen dos factores únicos que afectan a las compañías eléctricas públicas de SSA: la presión para expandir el acceso a la electricidad (que no es un problema en el Norte global) y la baja confiabilidad de la red, lo que potencialmente hace que los clientes C&I sean reticentes a utilizar la electricidad de la red, lo que exagera las presiones existentes.

Por lo tanto, existen dos preguntas críticas para los países en SSA en el contexto de un aumento sostenible de la demanda y del suministro. La primera es cómo pueden crecer los sectores de C&I al evitar simultáneamente el espiral de muerte en el que los servicios públicos que se supone se mantienen a flote gracias a los impuestos que pagan los clientes C&I no pueden proporcionar energía confiable 24/7 a esos clientes, y esto hace que esos mismos clientes recurran a otras fuentes (p. ej., generación en el lugar), reduciendo aun más los ingresos y la capacidad de las compañías eléctricas de proporcionar una energía confiable. Un elemento clave podría ser lo que se puede hacer por aquellos países en los que ya está establecido este espiral de muerte. Por ejemplo, ¿qué podría hacer la comunidad financiera internacional para intervenir en países donde las compañías de electricidad están atrapadas en un círculo vicioso en el que pierden clientes C&I claves y caen los ingresos, y así permanecen incapaces de invertir en la expansión del acceso y en la calidad del suministro?

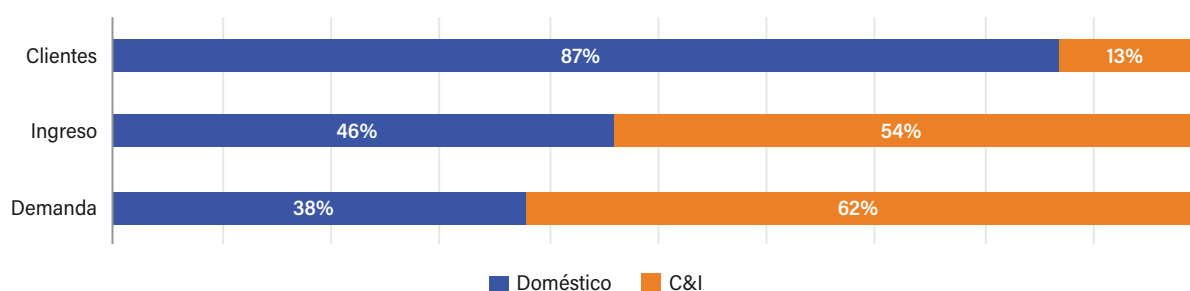
La segunda pregunta es cómo puede crecer el consumo doméstico de la electricidad en línea con los objetivos de desarrollo sin aplicar cargas financieras indebidas en las compañías eléctricas ya en dificultades (por ejemplo, al insistir

## Proporción relativa de consumidores hogareños (domésticos) y comerciales e industriales (C&I) de servicios públicos en Kenia y California: cantidad de clientes, ingresos y demanda

### Estadística financiera de servicios Kenia Power (promedio 2015 -2020), división de %



### Estadística de cliente de servicios de California (2021), división de %



Fuente: Datos para Kenia de KenyaPower 2021 y para California de EIA 2022.

en conectar a una gran cantidad de clientes con facturas bajas). Las minirredes y los sistemas autónomos podrían desempeñar un rol importante (Lucas et al. 2017; Mentis et al. 2017). En niveles bajos de electrificación, dichos sistemas pueden ser más rentables que conectar a los hogares a una red a escala de servicio público, en especial si están ubicados relativamente lejos de esa red y sus niveles de consumo son bajos (Lucas et al. 2017). El desarrollo de sistemas fuera de la red podría proporcionar "paquetes" iniciales de acceso a la electricidad a hogares en los niveles más bajos del consumo (ESMAP y SE4All 2015), con una eventual conexión posterior a la red a medida que estos hogares aumenten su nivel de uso de electricidad. Este enfoque reduciría la presión sobre los servicios públicos de proporcionar acceso inicial. (En el espacio de minirred, los modelos de negocios apropiados que involucran a clientes domésticos y comerciales, por supuesto, son también clave para garantizar la viabilidad financiera). Los formuladores de políticas deben considerar acelerar de manera activa estos tipos de innovación mediante incentivos normativos para sistemas fuera de la red (Trotter y Brophy 2022). De nuevo, la promesa de dichos sistemas diferirá de un país a otro, al igual que los desafíos económicos y financieros. Será muy importante realizar más investigación sobre estos temas a nivel de país para las transiciones energéticas africanas.

La expansión del acceso a la electricidad en SSA no tiene que ver solo con asumir un cierto crecimiento de la demanda y con encontrar la mezcla de tecnología de menor costo para cubrir esta demanda, como lo hacen la mayoría de los estudios de modelización de sistemas energéticos. El carácter específico de cómo operan las compañías de electricidad tiene un impacto en la velocidad y en la medida en la cual puede realizarse la expansión del acceso a la electricidad, y el crecimiento y fortalecimiento del segmento de C&I en SSA será crucial para la salud financiera de las compañías que deben realizar dichas expansiones. Los estudios confiables sobre las transiciones energéticas africanas no han cubierto aún en detalle este punto de vista desde el lado de la demanda.



## ¿CÓMO SE PUEDE PROPORCIONAR MEJOR UN SERVICIO A LOS SECTORES TRADICIONALMENTE NO ELECTRIFICADOS (P. EJ., COCCIÓN, TRANSPORTE E INDUSTRIA)?

### ¿HAY UN ROL NECESARIO PARA EL PETRÓLEO Y EL GAS EN ESTOS SECTORES?

Hemos planteado que es concebible que las VRE podrían impulsar, en gran medida, la expansión del acceso a electricidad confiable en SSA, pero solo si se pueden eliminar, de manera eficaz, los riesgos en las inversiones en VRE, si se presta la atención debida al refuerzo y a la expansión de las redes, y si se puede impulsar un crecimiento de la demanda en línea con el suministro. Sin embargo, si bien existe un consenso de que los esfuerzos globales de descarbonización requerirán eventualmente la electrificación del uso final (Eurelectric 2018), el grueso de la demanda de energía en SSA, en especial fuera de Sudáfrica, actualmente todavía proviene de los sectores no electrificados. Estos sectores incluyen los combustibles para cocción en hogares, por lo general la biomasa tradicional (IEA2022a), diésel y otros combustibles para transporte por carretera y otros, y combustibles sólidos que se utilizan para combustión directa en procesos industriales de alta temperatura, aunque la base industrial en la mayoría de los países de SSA es pequeña.

La electrificación no puede tener lugar de un día para el otro, y los combustibles fósiles tienen un rol inevitable a corto y mediano plazo para la cocción, el transporte y la industria en

SSA. No es realista esperar una electrificación rápida de la flota de vehículos, ni un cambio repentino a gran escala de la cocción con base a biomasa a una eléctrica, dada la escala necesaria de refuerzo y construcción de redes. Analicemos los sectores no electrificados uno por uno, para identificar las oportunidades y desafíos.

**Cocción:** Por lo general, se considera al gas licuado de petróleo (GLP) una alternativa realista (aunque de ninguna manera fácil (Hollada et al. 2017) a corto plazo para la biomasa tradicional. Se percibe ampliamente al GLP como una opción más barata que la electrificación de la cocción a corto plazo, pero que ofrece beneficios similares para la salud en términos de reducción de la contaminación del aire interior (IEA 2022a). El GLP se puede obtener tanto del petróleo como del gas, por lo que es probable que se produzca un aumento en las emisiones relacionadas con el combustible fósil en el sector de hogares en SSA a medida que la demanda continúe creciendo, hasta que la electrificación pueda desplazar al uso del GLP.

**Transporte de pasajeros y de carga:** La flota actual de vehículos de SSA consiste, principalmente, de vehículos de segunda mano que se exportan de países del Norte global (PNUMA 2020). El Norte global continúa con su impulso con respecto a la electrificación de su flota de transporte y muchos países tienen planificado prohibir la venta de vehículos con motor a combustión interna a nivel doméstico en las próximas dos décadas. Es probable que SSA renueve sus flotas de vehículos, principalmente, mediante la importación de automóviles a combustión interna que hoy en día permanecen en uso en el Norte global. Por lo tanto, es probable que la electrificación de la flota de vehículos en SSA esté un poco rezagada con respecto a la electrificación de las flotas de transporte en el Norte global. Un aumento en la demanda de transporte hará que la demanda de productos de petróleo en el sector de transporte continúe aumentando en el corto plazo (Gorham 2022). La electrificación del transporte de carga pesada es probable que lleve aún más tiempo que la de los automóviles personales. De manera opuesta, para los vehículos de dos otras ruedas, se espera que las tendencias se realicen más rápido. Para muchas personas en África, su primera exposición al transporte eléctrico podría tener lugar con las motocicletas y tuktuks eléctricos.

**Fabricación de cemento:** La fabricación de cemento es la principal emisora de gases de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés) en el sector de la industria pesada de SSA, y respalda la demanda creciente de construcción en estos países (McKinsey 2021). Teorizamos que la principal opción factible a largo plazo para la descarbonización total es el uso de captura y almacenamiento de carbono. Esto se debe a que no es fácil eliminar las emisiones del proceso de producción de clínker, aunque investigaciones sustanciales y pruebas piloto de otras formas de cemento bajo en carbono mediante la sustitución de materiales podría brindar resultados promisorios en el futuro (Sterl et al. 2017). En cualquier caso, es probable que se continúen utilizando combustibles fósiles (principalmente gas natural y carbón) como fuente directa de calor para la industria del cemento en crecimiento en SSA en el futuro cercano.



**Fabricación de acero:** A diferencia del cemento, el acero es un producto que se comercia a nivel internacional, y es probable que cualquier crecimiento fuerte en la fabricación de acero en SSA esté impulsado por un pequeño grupo de actores mundiales que dominan la industria del acero y que ya se comprometieron, en gran medida, a la descarbonización de la producción de acero. La fabricación de acero en SSA en la actualidad depende principalmente del reciclaje electrificado de chatarra (Asociación Mundial del Acero 2021), pero, en el futuro, si un sector principal de fabricación de acero se expandiera en SSA, probablemente adoptaría el método de reducción directa de hierro, que podría utilizar hidrógeno verde como combustible de combustión en lugar de gas natural (Kinch 2022).

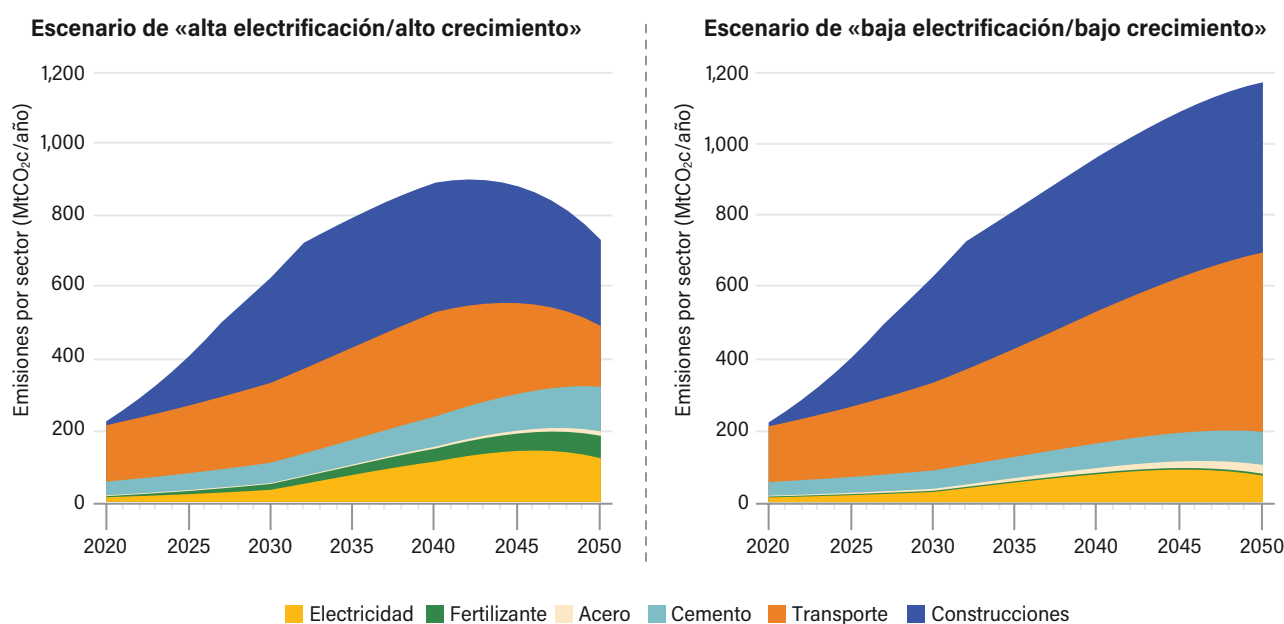
**Producción de fertilizante con nitrógeno:** El principal camino factible para la descarbonización a largo plazo parece ser el uso de hidrógeno verde. Sin embargo, en el corto plazo, se espera que aumente el uso predominante del gas natural. La producción actual de fertilizante per cápita en SSA es sumamente baja en comparación con los estándares internacionales (1.5 kg de fertilizante per cápita), al igual que el consumo de fertilizante por hectárea de tierra arable (23 kg por hectárea, en comparación con 157 kg en la UE y 383 kg en China) (Banco Mundial 2022a; 2022b; 2022c). Incluso en estos niveles bajos, en la actualidad se importa hasta el 80 por ciento del fertilizante en SSA.

Una pregunta clave es cuán alta podría llegar a ser la demanda de combustibles fósiles, en particular, de petróleo y de gas, en construcción, transporte e industria tanto a corto como a largo plazo. Para responder a esto, elaboramos dos escenarios ilustrativos para el uso de la energía y las emisiones en SSA, uno que refleja un progreso económico y tecnológico relativamente rápido en SSA, y otro que refleja cambios más lentos. En Figura 4 se muestran los resultados en términos de emisiones anuales por sector en los países de SSA (excluida Sudáfrica). Parecería que, sin importar cuál sea el recorrido, es probable que el orden de la magnitud de la demanda africana de petróleo y gas siga siendo una porción pequeña de la demanda mundial. Se debe tener en cuenta que este análisis se enfoca en proyecciones de crecimiento de la demanda y no responde a cómo se podría cubrir dicha demanda (p. ej., si en forma doméstica o mediante importaciones) ni cuál implicaría menos riesgos. Véase el Apéndice para un resumen de cómo se desarrollaron estos escenarios.

Estos escenarios nos ayudan a comprender el rango potencial de necesidad o uso de combustibles fósiles en los países africanos. Las proyecciones sugieren que, si bien la demanda doméstica de petróleo y gas para usos no relacionados con la energía podría, inicialmente, crecer de manera sustancial, la demanda de petróleo podría caer en la década de los 40 si la electrificación y un cambio hacia el hidrógeno en las industrias emergentes del acero y los fertilizantes hacen

## Escenarios ilustrativos para emisiones por sector de formas modernas de energía e industria hasta 2050 en África subsahariana, excluida Sudáfrica

FIGURA 4



*Notas:* No se contabilizan las emisiones del uso tradicional de biomasa. Esto explica la curva en el gráfico alrededor de 2030, cuando se asume que la biomasa tradicional para cocción se haya eliminado por completo (véase el Apéndice). Después de 2030, las emisiones de la cocción aumentan a un ritmo más lento ya que la proporción de combustibles fósiles en mezcla de cocción deja de aumentar junto con la demanda de energía para cocción.

*Fuente:* Desarrollado por los autores mediante el uso de la herramienta PROSPECTS de Climate Action Tracker (NewClimate Institute 2021).

avances importantes hasta ese momento. Fuera del sector del cemento, el aumento de la demanda de gas puede alcanzar un pico en la década de los 40 si los combustibles alternativos y la electrificación toman fuerza. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en general de estos sectores solo llegarían a entre 0.4 y 0.6 tCO<sub>2</sub>e/per cápita para 2050 (al haber ya llegado a un pico para ese momento), cifra que todavía está muy por debajo del promedio mundial.

Emerge una imagen general de que la demanda de productos de petróleo y gas en SSA podría alcanzar su máximo aproximadamente en la década de 2040-50 si se realizan avances importantes en la difusión de tecnología moderna, sin que esto resulte en aumentos de emisiones peligrosas a nivel global y permitiendo, al mismo tiempo, que los países de SSA desarrollen una base industrial más allá de la producción de cemento.

Sin embargo, se necesita más investigación para elaborar el rol exacto del petróleo y el gas a nivel de país por país, ya que cada país tiene un punto de inicio y una situación únicos en términos de recursos disponibles (p. ej., si un país importa combustibles fósiles o tiene suficientes recursos domésticos) y el panorama específico para diferentes industrias en cada país. La documentación científica sobre las vías de industrialización de países específicos es escasa, incluso a nivel de todo el continente: De los 54 artículos académicos publicados que investigan sistemas energéticos totalmente descarbonizados para África o para países africanos, solo 15 investigaron sectores energéticos que no son el sector eléctrico, y la mayoría de ellos se enfocaron en el transporte. Solo dos artículos abarcan a la industria, siendo este el sector menos cubierto (Oyewo et al. 2023). Si bien algunos países tienen planes de industrialización, como el Plan estratégico de desarrollo industrial de Etiopía (Ministerio Federal de Industria 2013), hay, por lo tanto, una falta general de

investigación sobre lo que estos planes significarían con respecto a las demandas de combustibles fósiles y cómo se los podría armonizar con objetivos de electrificación.

## **DADAS LAS SEÑALES ACTUALES Y FUTURAS DEL MERCADO INTERNACIONAL, ¿CUÁLES SON LAS OPORTUNIDADES Y LOS RIESGOS EN LAS EXPORTACIONES DE VECTORES ENERGÉTICOS DESDE ÁFRICA SUBSAHARIANA?**

Se espera que el foco de la exploración de petróleo y gas en el continente africano se oriente cada vez más a cubrir la demanda doméstica en vez de las exportaciones, a medida que grandes partes de la población de SSA obtenga acceso a formas modernas de cocción y transporte y se desarrolle la industria emergente (IEA 2022a; McKinsey 2022) (véase la sección anterior). Sin embargo, las exportaciones de petróleo y gas continuarán desempeñando un rol en las próximas décadas (AEC 2020). Muchos países africanos todavía consideran a las exportaciones de petróleo y gas como una oportunidad económica importante, pero, dado el contexto de descarbonización global, los países deberán evaluar las oportunidades, los costos y los riesgos que estas implican. Un mayor desarrollo del petróleo y del gas podrían resultar en activos en desuso que ya no producen ingresos públicos, y los países podrían desaprovechar otros sectores con alto potencial exportador (Climate Action Tracker 2022).



## ¿Cuáles son las consideraciones de riesgos en África subsahariana para las inversiones en combustibles fósiles predominantemente destinados a la exportación?

Los debates con respecto a los esfuerzos continuos de varios países africanos por expandir la exploración de petróleo y gas a veces enmarcan sus deseos legítimos de obtener ingresos de divisas como completamente fuera de línea con los esfuerzos globales por lograr la descarbonización (Africanews 2022)—en esencia, enfrentando las preocupaciones sobre el cambio climático contra las preocupaciones sobre equidad. Sin embargo, este argumento reduccionista disimula los muy necesarios matices. ¿Qué pasaría si la exploración de una cantidad limitada de petróleo y gas permitiera que esos países africanos obtengan los ingresos necesarios para financiar el crecimiento de la energía limpia (u otros proyectos de desarrollo deseables) a nivel doméstico (Davis et al. 2021)? ¿Podrían las ganancias del crecimiento de la energía limpia a nivel doméstico pesar más que las consecuencias ambientales negativas de una expansión limitada de la exploración de petróleo y gas? Después de todo, Noruega (país al que actualmente se elogia como líder en diversas áreas de descarbonización, con un suministro de energía renovable de casi 100 por ciento y la penetración de vehículos eléctricos más alta del mundo) también obtuvo sus ganancias históricas de la exportación de petróleo (Feingold 2022).

Dado el aporte histórico relativamente limitado de África a la producción global de petróleo y gas (ClimateActionTracker 2022), planteamos aquí que es improbable que su cuota relativamente baja en reservas de petróleo y gas inexploradas y su limitado consumo doméstico “exceda el presupuesto de carbono” antes que cualquier otro país. Por lo tanto, la pregunta principal con respecto al desarrollo de una nueva infraestructura para las exportaciones de petróleo y gas de África no es tanto “¿Está esto en línea con los objetivos climáticos?” sino “¿Quién se hace cargo de los riesgos financieros relacionados con dichos activos en un mundo en proceso de descarbonización?”. (Mulugetta et al. 2022).

Organizaciones internacionales como IEA e IRENA han planteado que el consumo de petróleo y gas debe comenzar a disminuir pronto y que debe experimentar reducciones drásticas antes de mediados de siglo para limitar el calentamiento global. La IEA también ha planteado que para mantenerse en línea con los objetivos de cero neto, se deberá interrumpir cualquier desarrollo de nuevos campos petrolíferos y gasíferos (IEA s/d) y varias instituciones financieras importantes, como el banco HSBC, se han alineado con estas metas (HSBC 2022). Otras dinámicas globales desempeñan roles fundamentales al influir en posiciones actuales, como la invasión ilegal de Ucrania por Rusia a principios de 2022. Si bien algunos asumieron

que la desaparición de las exportaciones de gas natural de Rusia a Europa crearía una oportunidad de aumentar las exportaciones africanas de gas a Europa (Pelz 2022), en la práctica, Europa ha acelerado el progreso hacia la electrificación, lo que llevaría a una caída a la demanda de gas de Europa a mediano plazo en lugar de un aumento (Goldthau y Tagliapietra 2022). Sin embargo, a nivel global, las muchas inversiones propuestas en proyectos de petróleo y gas que están aún en consideración demuestran que la industria del petróleo y del gas está todavía lejos de alinearse con las metas a largo plazo del Acuerdo de París (CarbonTracker 2022). Estas señales mezcladas del mercado están causando una incertidumbre importante acerca de la viabilidad a mediano plazo de nuevas inversiones en infraestructura de petróleo y gas en África.

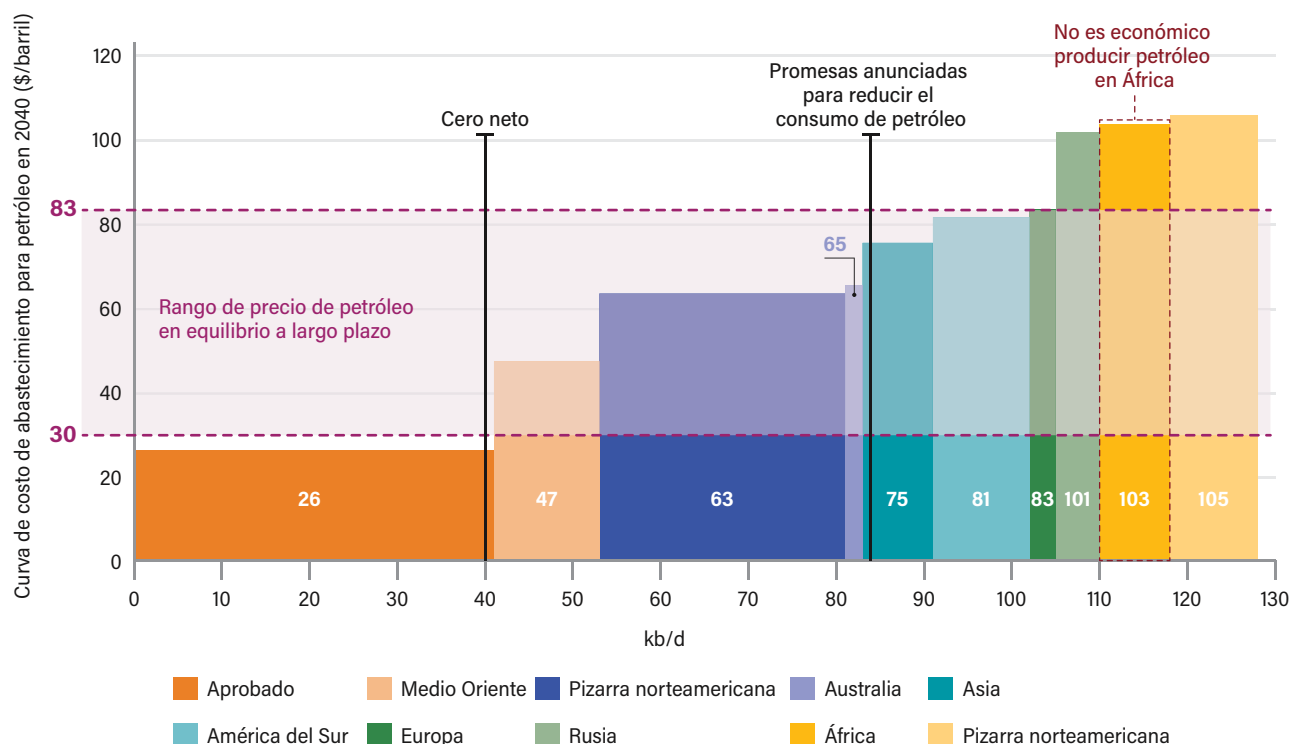
Sin importar cuáles sean las incertidumbres a corto plazo, es probable que la demanda global de petróleo y gas para 2040 esté sustancialmente por debajo de los niveles actuales, incluso si la demanda doméstica en SSA aumenta hasta ese momento. El peligro para los estados o las compañías nacionales de petróleo y gas de invertir en nuevas infraestructuras de extracción para exportación, por lo tanto, está en quedarse con activos en desuso que no generen ingresos para el gobierno (Semieniuk et al. 2022) (dado que el suministro global tenderá a ser cubierto por los proveedores de menor costo y dado que estos proveedores tienden a no estar ubicados en África sino en Medio Oriente) (Figure 5) (Rystad Energy 2019).

Si bien la demanda doméstica de petróleo y gas, y de sus derivados en SSA aumentará en corto a mediano plazo, esto no impedirá que la curva de la demanda global caiga, por lo que el riesgo de que el suministro africano no sea la opción más barata continuará existiendo.

La imagen que pinta la experiencia reciente no es la más prometedora. Entre los muchos países de SSA que anunciaron descubrimientos de petróleo y gas comercialmente explotables en los últimos años, los tres que pudieron alcanzar la producción antes de 2020 (Mauritania, Ghana y Níger) obtuvieron ingresos sustancialmente más bajos a los pronosticados inicialmente, en gran parte debido a que los valores de producción permanecieron muy por debajo de las proyecciones inicialmente optimistas. En el caso de Mauritania, los ingresos fueron hasta un 90 más bajos que lo pronosticado (Mihalyi y Scurfield 2020). Además, los descubrimientos de petróleo y gas anunciados por muchos países, incluso por Sierra Leona y Liberia, resultaron no ser comercialmente viables (Mihalyi y Scurfield 2020).



## Curva de costos de suministro marginal para proyectos existentes y futuros de exploración de petróleo en todo el mundo



Notas: La Figura 5 muestra como la producción potencial (en millones de barriles por día) se compara con la demanda global esperada bajo diferentes escenarios de desarrollo de la demanda global de petróleo para 2040. Los proyectos sancionados se refieren a proyectos que están operativos o para los cuales ya se tomaron decisiones finales de inversión.

Fuente: Datos de Rystad Energy (2019).

En respuesta a estas incertidumbres, los países de SSA con recursos de petróleo y gas deberán, por lo tanto, equilibrar las oportunidades a corto y mediano plazo con los riesgos y costos de oportunidad a largo plazo. Los riesgos son más agudos en circunstancias en las que llevaría muchos años empezar la producción de recursos fósiles, dada la volatilidad de los mercados de precios de las materias primas y el tiempo necesario para desarrollar actividades económicas alternativas.

### ¿Cuáles son las oportunidades futuras del continente en hidrógeno verde y minerales?

### ¿Cómo se comparan estas industrias en términos de potencial de generación de ingresos y beneficios para la economía local?

Dado que las proyecciones a largo plazo para el petróleo y el gas como productos que generen ingresos muestran un declive, los países en SSA podrían buscar otras opciones en

lugar de, o junto a la explotación de recursos de combustibles fósiles para exportación. Algunos países podrían posiblemente obtener ingresos de la exportación a partir de recursos esenciales para la descarbonización global (por ejemplo, del hidrógeno verde y de los minerales críticos).

### Hidrógeno verde y productos derivados

Dada la disponibilidad generalizada de recursos de alta calidad para generación de electricidad renovable en las cercanías de las costas (Sterl et al. 2022), la IEA estima que África podría producir hasta 5000 Mt de hidrógeno verde por año a un costo competitivo de menos de \$2/kg dentro de una distancia de 200 km de la costa (IEA 2022a). Análisis recientes de IRENA integraron la opción de construir electrolizadores para producir hidrógeno verde barato de electricidad producida por plantas de VRE en modelos de optimización de costos para la expansión de capacidad en África del Norte. El análisis concluyó que esta región podría producir hasta 24 Mt de  $H_2$  por año para 2040 a un costo de \$2/kg $H_2$  o menos (IRENA 2023a). El hidrógeno verde y los productos derivados del hidrógeno (como el amoníaco) podrían encontrar usos importantes en la industria pesada en descarbonización, como la fabricación de acero y también

en la producción de fertilizantes. Sin embargo, la IEA también pronostica solo un despegue lento de la demanda de hidrógeno verde en todo el mundo. Esto, en combinación con los altos costos de transporte para el envío de hidrógeno en forma pura y el desarrollo actual limitado dentro de SSA de potenciales usuarios industriales importantes de hidrógeno verde (p. ej., industrias de fertilizantes, productos químicos y acero), podría significar que el hidrógeno solo competiría con el petróleo y el gas como una oportunidad de exportación importante para la década del 30.

Sin embargo, para 2050, la demanda global de hidrógeno podría llegar a 800 Mt/año (ETC 2021b), lo que significa que el hidrógeno de bajo costo de África se podría posicionar bien para competir en el mercado global. Si África produjera 50 Mt de este hidrógeno y si prevalecieran los precios de \$1,500 a \$2,000/t, esto proporcionaría hasta \$100 mil millones/años en ingresos, un monto similar a los ingresos anuales del petróleo y el gas de Nigeria en la última década (NEITI 2022).

En la gran mayoría de los casos, la ruta económica para la producción de hidrógeno para exportación pasaría por la producción de derivados como el amoníaco, el cual—a diferencia del hidrógeno puro—sería factible de transportar (Liebreich 2022). Sin embargo, también se debería considerar la ruta opuesta (llevar la industria a los países africanos en lugar de exportar productos derivados de hidrógeno africano a Europa u otros lugares). Por ejemplo, potenciales cambios importantes en el diseño óptimo en las cadenas de valor del sector global del hierro y el acero también podrían hacer posible que países africanos como Guinea, con recursos de mineral de hierro (USGS 2022) se conviertan en lugares de producción de hierro esponja destinado a fabricantes de acero en países desarrollados.

En la práctica, podrían existir grandes riesgos económicos vinculados a algunos de los proyectos propuestos. Consideren la planta AMAN de 30 GW de energía a hidrógeno sugerida en Mauritania, que costaría \$40 mil millones (IRENA 2023a), un volumen de inversión que es aproximadamente seis veces el PBI anual total de Mauritania. No se pueden descartar los peligros de las consecuencias económicas del "síndrome holandés", en el que el predominio de un sector inhibe el desarrollo de otros (Asiamah et al. 2022). También se debe investigar la cuestión de quién participará en los beneficios y los riesgos de los megaproyectos de hidrógeno verde. Históricamente, en ausencia de instituciones fuertes, los proyectos a gran escala con base en exportaciones no siempre han resultado en una prosperidad ampliamente compartida, ni en SSA ni en ningún otro lugar (Davis et al. 2021).

Se debe evitar considerar a África, de manera simplista, como el "punto caliente del hidrógeno del mundo" y se debe avanzar las narrativas a nivel de país que consideran las capacidades y oportunidades de cada nación (en especial, dado que serían necesarias inversiones sustanciales y acuerdos de consumo para poner en marcha este mercado, y su promesa económica no es, en absoluto, segura).

## Minerales críticos

El continente africano ya es una fuente importante de algunos de los minerales que se requieren para la electrificación y descarbonización de los sistemas eléctricos. Por ejemplo, la cuota de África en la producción global de cobalto, manganeso y grafito natural (necesarios para las baterías) superó el 30 por ciento en 2020, y se estima que existen en todo el continente grandes depósitos de otros minerales, como níquel, que son necesarios en la transición energética (IEA 2022a). Se espera que la demanda global de estos minerales crezca de manera sustancial a medida que avance la transición energética, y la IEA estima que, si África mantuviera su cuota actual de mercado en minerales para baterías hasta 2050, los ingresos totales de las exportaciones serían, para entonces, iguales a los ingresos de exportaciones de combustibles fósiles (IEA 2022a). Lo que es más importante, los depósitos de minerales verdes tienen a estar distribuidos de manera desigual por país. Por ejemplo, casi el 100 por ciento de la producción de cobalto de África en la actualidad proviene de la República Democrática del Congo (IEA 2022a).

Si bien la exportación de minerales críticos parece ser una oportunidad promisorio en teoría, la planificación para desarrollar y mantener el sector se debe realizar con cuidado. El suministro de ciertos materiales como el litio podría enfrentar cuellos de botella en el futuro (Greim et al. 2020), y los materiales que tienen demanda en el presente podrían ser reemplazados por mejores alternativas en el futuro (Gielen 2021). El comercio global de dichos minerales, por lo tanto, no será inmune a choques de precios similares a los que experimenta en la actualidad el mercado global del gas, o a los riesgos similares de los activos en desuso (dado el plazo de espera de minas nuevas). Si los países optan por la vía de exploración de minerales, será fundamental implementar una gobernanza adecuada de los recursos para garantizar que la cadena de valor de los minerales agregue un valor sustancial a la economía local en forma de creación de empleos, innovación y exportación de los productos procesados (p. ej., producción de baterías en Zambia y en la República Democrática del Congo) y que la minería se realice de manera sostenible, para evitar consecuencias negativas para los derechos humanos y el medioambiente.

## Síntesis

Existen oportunidades para la exportación de productos en línea con los esfuerzos de descarbonización global que parecen muy promisorios en teoría para muchos países de SSA y que podrían tener mejores proyecciones a largo plazo que la exploración de petróleo y gas. Sin embargo, los mercados globales para estos productos todavía no están maduros, y no es sorprendente que los formuladores de políticas de SSA sean reticentes a renunciar a inversiones en una nueva infraestructura de petróleo y gas, que prometen retornos más inmediatos.

De nuevo, una investigación específica por país de las oportunidades y riesgos ayudará a los países a hacer planes concretos para el uso de recursos que estén en línea con su potencial. En este contexto, la retórica generalizada de "los países africanos deberían exportar hidrógeno verde y minerales y renunciar por completo al petróleo y al gas" no es de utilidad.

## CONCLUSIÓN

Nuestra síntesis presenta las principales preguntas críticas para determinar las vías de las transiciones energéticas africanas, junto con la mejor información disponible que aborda actualmente estas preguntas. La base de evidencia para muchos de estos temas es actualmente muy escasa, y abundan las divergencias y los puntos ciegos (Figura 6). De todas maneras, llegamos a las conclusiones siguientes:

- En principio, los países de SSA podrían construir sistemas de electricidad rentables con base principalmente en VRE. Esto solo será posible si se pueden lograr reducciones en el costo de capital para las VRE mediante la reducción de riesgos, si se pueden movilizar grandes flujos financieros y si se fortalecen y expanden las redes existentes para que puedan absorber más VRE. Los modelos existentes a menudo subestiman estas variables importantes y cómo estas difieren de un país a otro. Algunos países ya han logrado valores suficientemente bajos de costo de capital para hacer que las VRE sean una opción rentable en comparación con los combustibles fósiles, mientras que otros están rezagados (Figura 2). Algunos países atraen más financiación que otros. Y las redes de algunos países son mucho más capaces de absorber grandes porciones de VRE que las redes de otros países. Se necesitan estudios de alta resolución a nivel de red para cada país para modelar la factibilidad de hacer funcionar sistemas de electricidad a una alta penetración de VRE.
- El aumento de la demanda de electricidad en SSA está restringido tanto por el ingreso per cápita como por el suministro (la expansión de la red a clientes con facturas bajas suele ser comercialmente inviable). Incluso con estrategias de acceso exitosas, la demanda de electricidad per cápita de SSA seguirá estando sustancialmente por debajo de los niveles de países de ingresos medios para 2030. Se necesitan estrategias para romper con el círculo vicioso de una baja confiabilidad de la red que empuja a los clientes C&I a la generación en el lugar, lo que resulta en menores ingresos para los servicios públicos.
- En los sectores de hogares, transporte e industria de África, es probable que el crecimiento del desarrollo económico requiera de aumentos en el uso de combustibles fósiles en el corto plazo para cubrir la creciente demanda para cocción, movilidad, vivienda y producción. Si bien la electrificación más recursos renovables es una opción a largo plazo en muchos





de estos sectores, dichos procesos llevarán tiempo. Se deben reconocer los límites prácticos a corto plazo de alternativas ecológicas para cocción, fabricación de cemento y transporte. El GLP probablemente desempeñará un rol clave en el avance a una cocción más ecológica; el gas se continuará utilizando en la producción de cemento; y el transporte por ruta dependerá del diésel y la gasolina durante más tiempo que en los países de altos ingresos. Las nuevas tecnologías, en especial el hidrógeno verde, que podrían compensar la necesidad de combustibles fósiles en sectores industriales como el del acero y los fertilizantes, requieren una investigación más profunda. La viabilidad de las opciones de defosilización variarán de un sector a otro y de un país a otro, al hacer énfasis en que se necesitan con urgencia un análisis a nivel de sector y de país.

- Algunos países de SSA podrían obtener ingresos valiosos de las exportaciones de recursos de petróleo y gas. Pero existen riesgos de que las exportaciones futuras de petróleo y gas de países en África podrían verse amenazadas por el ritmo de la descarbonización en economías desarrolladas, con datos disponibles que apuntan a altos riesgos de activos de bajo retorno, a pesar de la tendencia de aumento de la demanda a corto y mediano plazo para el petróleo y el gas dentro de SSA misma. La oportunidad de exportaciones de hidrógeno verde y de los minerales necesarios para lograr la descarbonización global podría proporcionar alternativas para obtener ingresos de las exportaciones. Las tendencias internacionales sugieren que los flujos de generación de ingresos de la expansión del hidrógeno verde y de los minerales críticos podrían ser atractivos para el continente, lo que hace necesario un análisis del escenario de cada país.

Las cuatro preguntas críticas que planteamos al principio de este informe (Figura 1) apuntan, por lo tanto, a una necesidad de que se realice un análisis adicional, específicamente a nivel de país, para informar a los formuladores de políticas de energía en SSA. Resumimos los puntos ciegos y el análisis adicional necesario en Figura 6. Así, los "sí" y los "entonces" de los puntos anteriores se complementan con claros "cómo": Se debe expandir la base de investigación existente con análisis específico para completar el panorama de lo que se necesita para que cada país africano trace su futuro energético de manera sostenible.



## Preguntas claves, divergencias y puntos ciegos en las proyecciones y escenarios actuales, y análisis adicional necesarios para cerrar la brecha en el modelado y análisis

PREGUNTA CLAVE	DIVERGENCIA Y PUNTOS CIEGOS	NECESIDADES DE ANÁLISIS ADICIONAL
 ¿Son las fuentes de VRE realmente la opción más rentable para generar energía en África subsahariana?	<ul style="list-style-type: none"> <li>El costo de capital para cada tecnología y por cada país</li> <li>La disponibilidad de capital movilizable entre tecnologías</li> <li>Rol del gas para la generación de energía, ya sea como carga base o para flexibilidad</li> <li>Costo de construcción total del sistema (generación, T&amp;D, almacenamiento, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis específico de cada país del costo real de la tecnología, dadas las finanzas del país</li> <li>Mecanismos específicos de cada país para mejorar la asequibilidad cuando el costo del capital es alto</li> <li>Solución de costo óptimo específica para cada país para la generación de energía, T&amp;D y almacenamiento</li> <li>Las necesidades de la red para permitir sistemas con alta penetración de VRE</li> </ul>
 ¿Cuán rápido podría crecer la demanda de electricidad en África subsahariana dadas las proyecciones de crecimiento de ingresos tanto en el corto como en el largo plazo?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las proyecciones de la demanda de electricidad varían mucho de un estudio o escenario a otro</li> <li>En los estudios no siempre se incluye una consideración explícita al término medio entre la expansión de la red y el acceso fuera de la red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medida en la cual se deberían utilizar las conexiones fuera de la red para proporcionar acceso a la energía</li> <li>Proyecciones de demanda que reflejan elasticidad de precio, poder de compra y demanda suprimida</li> <li>Efecto de la elección de expansión de red o construcción fuera de la red en los modelos comerciales para generación de energía</li> </ul>
 ¿Qué roles desempeñarán el petróleo y el gas en la cocción, el transporte y la industria a corto y largo plazo en África subsahariana?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medida y velocidad a las cuales las industrias, hogares y transporte domésticos se electrifican</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pronósticos para el suministro de vehículos más grandes (autobuses, camiones) y capacidad de "convertirse a verdes".</li> <li>Análisis específico de África subsahariana de la descarbonización de sectores difíciles de descarbonizar</li> <li>Parámetros económicos y tecnológicos precisos para la industria africana (también por país)</li> </ul>
 ¿Cuáles son las oportunidades de exportación emergentes en hidrógeno verde, minerales críticos y combustibles fósiles en África subsahariana, y cuáles son los riesgos asociados?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgos para SSA de capitalizar en gas natural y recursos minerales para cubrir la demanda internacional</li> <li>El realismo de que África se convierta en el núcleo de la producción de hidrógeno para fines domésticos y exportaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelización detallada de cómo los ingresos y las necesidades económicas de los países afectan las opciones de vías de transición energética</li> </ul>

Fuente: Autores.

## APÉNDICE: DEMANDA SECTORIAL DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y PROYECCIONES DE EMISIONES EN ÁFRICA SUBSAHARIANA

Este apéndice describe los supuestos que se utilizaron en el cálculo de las proyecciones de emisiones por sector para los países de SSA en Figura 4. Estos supuestos son propios de los autores y solo sirven para fines ilustrativos para mostrar desarrollos posibles de la demanda de energía y de las emisiones en África subsahariana, excluida Sudáfrica. No tienen la finalidad de estar necesariamente en línea con supuestos comparables de otras organizaciones, y no se los debe interpretar que reflejan las opiniones de los autores sobre lo que sería o podría ser la vía más realista, solo para mostrar un rango de posibilidades que cubren opciones de baja y de alta ambición.

En la **coCCIÓN**, asumimos aumentos en el desarrollo socioeconómico y un uso más intensivo de la energía a nivel de los hogares para llevar a un aumento de la demanda de energía del 5 por ciento por año, junto con una salida paulatina de la biomasa tradicional hacia el GLP más limpio para 2030 (al que se considera una opción menos costosa que la electrificación de la coCCIÓN en el corto plazo, pero que ofrece beneficios similares para la salud), seguido de un impulso hacia el 75 por ciento de electrificación para 2050 en el escenario alto, y hacia el 50 por ciento de electrificación en el escenario bajo. Esto resultaría en un consumo final de GLP de aproximadamente 60 a 120 Mt/año para 2050, aproximadamente el equivalente a 2.5 Mmboe/día. Bajo el escenario de alta electrificación, esta demanda ya habrá pasado su pico en 2050. Para fines comparativos, la demanda global *actual* de petróleo se encuentra en aproximadamente 100 Mmboe/día (IEA 2022e).

En el **transporte de pasajeros**, asumimos un crecimiento de la demanda (en pasajero-kilómetros) en un promedio de 5 por ciento por año, en el que los automóviles y autobuses de pasajeros harán la transición al 100 por ciento eléctricos para 2050 en el escenario alto y al 50 por ciento eléctricos en el escenario bajo. En el **transporte de carga**, se asumen índices de crecimiento por sector (en tonelada-kilómetros) idénticos, pero la flota de transporte solo comienza a hacer la transición a eléctrica en 2035 y alcanza el 50 por ciento de penetración de camiones en el escenario alto y del 10 por ciento en el escenario bajo. En general, el consumo final de petróleo en transporte se encuentra entre aproximadamente 0.8 y 2.5 Mmboe/día para 2050 y, en el escenario de alta electrificación, ya alcanzó su pico para entonces.

En la **fabricación de cemento**, asumimos que la opción más factible a largo plazo para la descarbonización total es el uso de captura y almacenamiento de carbono, dado que no es fácil eliminar paulatinamente las emisiones del proceso de producción de clinker. Por lo tanto, se continuará utilizando al gas natural como una fuente directa de calor. Asumimos un crecimiento de la producción de cemento de 4 por ciento por año en el escenario alto, lo que refleja aproximadamente los supuestos de crecimiento futuro de PBI (IEA 2022a), y a índices de crecimiento poblacional en el escenario bajo, lo que significaría una producción de cemento constante per cápita. Aquí el consumo final de gas natural crece

a 11–18 bcm/año para 2050. Para fines comparativos, la demanda global *actual* de gas natural se encuentra en aproximadamente 4000 Mmboe/año (IEA 2022d).

En la **fabricación de acero**, por otro lado, asumimos un cambio en los procesos de producción del actualmente prevalente reciclaje de chatarra (Asociación Mundial del Acero 2021), a, principalmente, la fabricación de acero mediante el uso de la ruta de reducción directa del hierro, para alcanzar una producción anual de 50kg de acero per cápita, mediante inicialmente el gas natural como fuente de calor pero al cambiar al hidrógeno verde a lo largo del tiempo. En el escenario alto, el uso del hidrógeno ya alcanza el 80 por ciento para 2030, en el escenario bajo, alcanza el 60 por ciento para 2050. En ambos escenarios, dado el fuerte crecimiento del sector desde una base muy baja, el consumo final de gas natural aumenta de manera sustancial hasta 2050, para alcanzar 4.7 (bajo) a 9.5 (alto) bcm/año.

En la **producción de fertilizante con nitrógeno**, asumimos un crecimiento del consumo de fertilizantes hasta los mismos niveles por hectárea de tierra de cultivo que en India hoy en el escenario alto y un crecimiento en línea con el crecimiento poblacional en el escenario bajo (es decir, ningún cambio en la demanda de fertilizante per cápita). En el caso del escenario alto, asumimos que la producción doméstica aumente hasta el 60 por ciento del consumo total, para reflejar, de nuevo, el nivel de India actual, mientras que, en el escenario bajo, la cuota doméstica se mantiene constante en aproximadamente el 30 por ciento. En ambos casos, asumimos que el hidrógeno verde reemplazará en forma gradual al gas natural (del 20 por ciento para 2030 a más del 80 por ciento para 2040). Esto resulta en una fuerte intensificación del consumo de gas hasta 2035 antes de disminuir a casi cero para 2050.

Si bien estos escenarios para la fabricación de acero y fertilizantes podrían parecer ambiciosos, tenemos en cuenta que dada la gran cantidad de capital necesario para financiar las plantas de acero y fertilizante, es muy probable que las inversiones para estas provengan de compañías internacionales que ya han realizado compromisos de cero neto y que, por lo tanto, querrán construir plantas en línea con esos compromisos (The ClimateGroup 2022).

Por último, los diferentes desarrollos de electrificación y opciones de tecnología en sectores de uso final tienen un impacto en la **demandas de electricidad**. Estimamos que la demanda de electricidad crezca a algún punto dentro del rango de 1.2–1.9 MWh/año/cápita para 2050 bajo los supuestos de baja y alta electrificación, lo que representa aproximadamente los niveles actuales en India y Costa Rica, respectivamente. Hipotetizamos que la mezcla de energía cambiará con rapidez a una penetración más alta de VRE, para alcanzar un 80 por ciento para 2050, inicialmente a expensas de la energía hidroeléctrica, pero, a partir de 2030, también del gas natural, del diésel y de otros combustibles pesados. Esto lleva a un pico esperado de consumo final de gas natural para la generación de electricidad de aproximadamente 25 a 50 bcm/año alrededor de 2040.

## ENDNOTES

1. Tenga en cuenta que estas cifras mezclan el consumo de hogares y sectores comerciales o industriales. Se debe comprender que normalmente los niveles de consumo de los hogares serían incluso mucho más bajos.
2. Se compone de un crecimiento supuesto del 2 por ciento de uso energético por metro cuadrado y un 1 por ciento de crecimiento de superficie cubierta per cápita, con una tasa de crecimiento poblacional de aproximadamente 2 por ciento anual en el período 2020-2050.
3. Se compone de un aumento supuesto del 3 por ciento de demanda per cápita con un crecimiento poblacional promedio del 2 por ciento.



## REFERENCIAS

- AEC (Cámara Africana de Energía). 2020. "Africa Energy Outlook 2021." <https://energychamber.org/report/africa-energy-outlook-2021>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- AFC (Corporación Financiera de África). 2022. *Roadmap to Africa's COP: A Pragmatic Path to Net Zero*. [https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/afc-assets/afc/11378\\_AFC\\_COP\\_White\\_paper\\_V2\\_LR-1.pdf](https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/afc-assets/afc/11378_AFC_COP_White_paper_V2_LR-1.pdf).
- Unión Africana. 2021. "African Union Launches World's Largest Single Electricity Market (AFSEM)." <https://au.int/en/pressreleases/20210604/african-union-launches-worlds-largest-single-electricity-market-afsem>.
- Comisión de Unión Africana. 2021. "Is Energy Transition the Answer to Africa's Climate Change and Socio-Economic Development? What Will It Take for Africa to Reach Net-Zero Emissions?" <https://au.int/en/pressreleases/20211109/energy-transition-answer-africas-climate-change-and-socio-economic>.
- Africanews. 2022. "Climate Activists Call on Countries to Stop Funding New Gas Projects in Africa." <https://www.africanews.com/2022/11/15/climate-activists-call-on-countries-to-stop-funding-new-gas-projects-in-africa/>.
- Agutu, Churchill, Florian Egli, Nathaniel J. Williams, Tobias S. Schmidt y Bjarne Steffen. 2022. "Accounting for Finance in Electrification Models for Sub-Saharan Africa." *Nature Energy* 7 (7): 631–41. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01041-6>.
- Alova, Galina, Philipp A. Trotter y Alex Money. 2021. "A Machine-Learning Approach to Predicting Africa's Electricity Mix Based on Planned Power Plants and Their Chances of Success." *Nature Energy* 6 (2): 158–66. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00755-9>.
- Al-Zu'bi, Maha, Sintayehu W. Dejene, Jean Hounkpè, Olga Laiza Kupika, Shuaib Lwasa, Mary Mbenge, Caroline Mwongera, et al. 2022. "African Perspectives on Climate Change Research." *Nature Climate Change*, Noviembre de 2022. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01519-x>.
- Anvane-Obame, Judicaël Léonce Eugène, Alexis-Léandre Okouma, Prisca Ngoloa, Guy Léonce Ondo Makounga y Arnold Stéphane Kapitho. 2019. *Analyse de l'Offre Énergétique du Gabon à l'Horizon 2045 et Évaluation des Émissions de CO<sub>2</sub>*. Libreville, Gabón: Ministère de l'Énergie et des Ressources Hydrauliques & Agence Internationale de l'Énergie Atomique.
- Asiamah, Oliver, Samuel Kwaku Agyei, Bossman Ahmed y Ellen Animah Agyei. 2022. "Natural Resource Dependence and the Dutch Disease: Evidence from Sub-Saharan Africa." *Resources Policy* 79 (Diciembre): 103042. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103042>.
- Balabanyan, Ani, Yadviga Semikolenova, Arun Singh y Min A. Lee. 2021. *Utility Performance and Behavior in Africa Today—Summary Report*. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/36178/Summary-Report.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Barasa, Maulidi, Dmitrii Bogdanov, Ayobami Solomon Oyewo y Christian Breyer. 2018. "A Cost Optimal Resolution for Sub-Saharan Africa Powered by 100% Renewables in 2030." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92 (Setiembre): 440–57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.110>.
- BNEF (Bloomberg New Energy Finance). 2022. "Cost of New Renewables Temporarily Rises as Inflation Starts to Bite." Blog. Junio 30. <https://about.bnef.com/blog/cost-of-new-renewables-temporarily-rises-as-inflation-starts-to-bite/>.
- Bogdanov, Dmitrii, Javier Farfan, Kristina Sadovskaia, Arman Aghahosseini, Michael Child, Ashish Gulagi, Ayobami Solomon Oyewo, et al. 2019. "Radical Transformation Pathway toward Sustainable Electricity via Evolutionary Steps." *Nature Communications* 10 (1): 1077. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08855-1>.
- Breyer, C., S. Khalili, D. Bogdanov, M. Ram, A.S. Oyewo, A. Aghahosseini, A. Gulagi, et al. 2022. "On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research." *IEEE Access* 10: 78176–218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193402>.
- Carbon Tracker. 2022. "Paris Maligned: Why Investors Should Assess the Climate Alignment of Oil & Gas Companies." <https://carbontracker.org/wp-content/uploads/2022/12/Paris-Maligned.pdf>.
- Chen, A.A., A.J. Stephens, R. Koon Koon, M. Ashtine y K. Mohammed-Koon Koon. 2020. "Pathways to Climate Change Mitigation and Stable Energy by 100% Renewable for a Small Island: Jamaica as an Example." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 121 (Abril): 109671. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109671>.
- Climate Action Tracker. 2022. "Natural Gas in Africa: Why Fossil Fuels Cannot Sustainably Meet the Continent's Growing Energy Demand." [https://climateactiontracker.org/documents/1048/CAT\\_2022-05\\_Report\\_NaturalGasinAfrica.pdf](https://climateactiontracker.org/documents/1048/CAT_2022-05_Report_NaturalGasinAfrica.pdf).
- The Climate Group. 2022. "Major Businesses Commit to 100% Net Zero Steel." <https://www.theclimategroup.org/our-work/press/major-businesses-commit-100-net-zero-steel>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.

- Davis, William, Andrew Bauer y Papa Daouda Diene. 2021. *Managing Senegal's Oil and Gas Revenues*. Instituto de Gobernanza de los Recursos Naturales. [https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/managing\\_senegals\\_oil\\_and\\_gas\\_revenues.pdf](https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/managing_senegals_oil_and_gas_revenues.pdf).
- DWF Group. 2018. "Will Africa Leapfrog Traditional Energy Infrastructure and Head Straight for Off-Grid Renewables?" <https://dwfgroup.com/en/news-and-insights/insights/2018/4/will-africa-leapfrog-traditional-energy-infrastructure-and-head-straight-for-off-grid-renewables>.
- The Economic Times India*. 2022. "G7 Vows to End Fossil-Fuel Financing Abroad by End 2022: Statement," 27 de mayo de 2022. <https://economictimes.indiatimes.com/industry/renewables/g7-vows-to-end-fossil-fuel-financing-abroad-by-end-2022-statement/articleshow/91835949.cms>.
- The Economist*. 2017. "Africa Might Leapfrog Straight to Cheap Renewable Electricity and Minigrids." <https://www.economist.com/special-report/2017/11/10/africa-might-leapfrog-straight-to-cheap-renewable-electricity-and-minigrids>.
- EEA (Agencia Europea de Medio Ambiente). 2017. "Energy in Europe—State of Play." <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/articles/energy-in-europe-2014-state-1>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Egli, Florian, Bjarne Steffen y Tobias S. Schmidt. 2019. "Bias in Energy System Models with Uniform Cost of Capital Assumption." *Nature Communications* 10 (1): 4588. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12468-z>.
- EIA (Administración de Información Energética de EE. UU.). 2022. "2021 Total Electric Industry—Customers." [https://www.eia.gov/electricity/sales\\_revenue\\_price/pdf/table1.pdf](https://www.eia.gov/electricity/sales_revenue_price/pdf/table1.pdf).
- Enel Green Power. 2018. *África: La tierra de las energías renovables*. <https://www.enelgreenpower.com/stories/articles/2018/06/africa-the-land-of-renewables>.
- ESI Africa. 2022. *Exploration into the Role of T&D in Africa's Low Energy Access Rates*. <https://www.esi-africa.com/industry-sectors/transmission-and-distribution/exploration-into-the-role-of-td-in-africas-low-energy-access-rates/>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- ESMAP (Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético) y SE4All (Energía Sostenible para Todos). 2015. *BeyondConnections—Energy Access Redefined*. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24368/Beyond0connect0d000technical0report.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- ETC (Comisión de Transición Energética). 2021a. *Making Clean Electrification Possible: 30 Years to Electrify the Global Economy*. <https://www.energy-transitions.org/publications/making-clean-electricity-possible/#download-form>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- ETC. 2021b. *Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy*. <https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2021/04/ETC-Global-Hydrogen-Report.pdf>.
- EURactiv. 2022. "EU Aims to Make Africa a World Champion in Hydrogen Exports." <https://www.euractiv.com/section/energy/news/eu-aims-to-make-africa-a-world-champion-in-hydrogen-exports/>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Eurelectric. 2018. *EU Electrification and Decarbonization Scenario Modelling*. <https://cdn.eurelectric.org/media/3172/decarbonisation-pathways-electricity-part-study-results-h-AD171CCC.pdf>.
- Comisión Europea. 2023. "New Reports Highlight 3rd Quarter Impact of Gas Supply Cuts." Dirección General de Energía. [https://energy.ec.europa.eu/news/new-reports-highlight-3rd-quarter-impact-gas-supply-cuts-2023-01-13\\_en](https://energy.ec.europa.eu/news/new-reports-highlight-3rd-quarter-impact-gas-supply-cuts-2023-01-13_en).
- Ministerio Federal de Industria 2013. *Plan estratégico de desarrollo industrial de Etiopía (2013–2025)*. [https://www.eebcouncil.org/images/publications/Ethiopian%20Industrial%20Development%20Strategic%20Plan%20\(2013-2025\).pdf](https://www.eebcouncil.org/images/publications/Ethiopian%20Industrial%20Development%20Strategic%20Plan%20(2013-2025).pdf).
- Feingold, Spencer. 2022. "Norway's Massive Sovereign Wealth Fund Sets Net-Zero Goals." <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/norways-massive-sovereign-wealth-fund-sets-net-zero-goal/>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Gielen, D. 2021. *Critical Materials for the Energy Transition*. <https://irena.org/Technical-Papers/Critical-Materials-For-The-Energy-Transition>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Atlas Solar Global. 2020. *Solar PV Resource Availability*. 2020. <https://globalsolaratlas.info>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Goldstone, Jack A. 2021. "The Battle for Earth's Climate Will Be Fought in Africa." <https://diplomacy21-adelphi.wilsoncenter.org/article/battle-earths-climate-will-be-fought-africa>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Goldthau, Andreas y Simone Tagliapietra. 2022. "Energy Crisis: Five Questions That Must Be Answered in 2023." <https://www.nature.com/articles/d41586-022-04467-w>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- Gorham, Roger. 2022. "To Decarbonize Transport, Help Developing Countries Deal with Junkers, Clunkers and Jalopies." Blog del Banco Mundial. Junio 23. <https://blogs.worldbank.org/transport/decarbonize-transport-help-developing-countries-deal-junkers-clunkers-and-jalopies>.

- Greim, Peter, A.A. Solomon y Christian Breyer. 2020. "Assessment of Lithium Criticality in the Global Energy Transition and Addressing Policy Gaps in Transportation." *Nature Communications* 11 (1): 4570. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18402-y>.
- Gulagi, Ashish, Manish Ram, Dmitrii Bogdanov, Sandeep Sarin, Theophilus Nii Odai Mensah y Christian Breyer. 2022. "The Role of Renewables for Rapid Transitioning of the Power Sector across States in India." *Nature Communications* 13 (1): 5499. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33048-8>.
- HSBC. 2022. "HSBC Sets Net Zero Aligned Targets to Reduce Financed Emissions from Oil and Gas, Power and Utilities Sectors." <https://www.hsbc.com/news-and-media/media-releases/2022/hsbc-sets-financed-emissions-targets-for-oil-and-gas-power-and-utilities>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- Heptonstall, Philip J. y Robert J.K. Gross. 2021. "A Systematic Review of the Costs and Impacts of Integrating Variable Renewables into Power Grids." *Nature Energy* 6 (1): 72–83. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00695-4>.
- Hollada, Jacqueline, Kendra N. Williams, Catherine H. Miele, David Danz, Steven A. Harvey y William Checkley. 2017. "Perceptions of Improved Biomass and Liquefied Petroleum Gas Stoves in Puno, Peru: Implications for Promoting Sustained and Exclusive Adoption of Clean Cooking Technologies." *Int J Environ Res Public Health* 14 (2): 182. <https://doi.org/10.3390/ijerph14020182>.
- IEA (Agencia Internacional de la Energía). 2020a. *Uruguay—Countries & Regions*. <https://www.iea.org/countries/uruguay>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- IEA. 2020b. *Climate Impacts on African Hydropower*. <https://www.iea.org/reports/climate-impacts-on-african-hydropower>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- IEA. 2020c. *Will System Integration of Renewables Be a Major Challenge by 2023?* <https://www.iea.org/articles/will-system-integration-of-renewables-be-a-major-challenge-by-2023>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- IEA. 2022a. *Panorama energético de África 2022*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6fa5a6c0-ca73-4a7f-a243-fb5e83ecfb94/AfricaEnergyOutlook2022.pdf>.
- IEA. 2022b. *SDG7 Data and Projections*. Abril de 2022. <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections>.
- IEA. 2022c. "Global Energy Crisis Shows Urgency of Accelerating Investment in Cheaper and Cleaner Energy in Africa." <https://www.iea.org/news/global-energy-crisis-shows-urgency-of-accelerating-investment-in-cheaper-and-cleaner-energy-in-africa>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- IEA. 2022d. *Informe sobre el mercado del gas, T3-2022*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c7e74868-30fd-440c-a616-488215894356/GasMarketReport%2CQ3-2022.pdf>.
- IEA. 2022e. *Informe sobre el mercado del petróleo —octubre de 2022*. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-october-2022>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- IEA. n.d. *Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- IRENA (Agencia de Energía Renovable Internacional). 2015. "From Baseload to Peak: Renewables Provide a Reliable Solution." Documento de trabajo. Abu Dhabi: IRENA. [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Baseload\\_to\\_Peak\\_2015.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Baseload_to_Peak_2015.pdf).
- IRENA. 2017. *Planning for the Renewable Future: Long-Term Modelling and Tools to Expand Variable Renewable Power in Emerging Economies*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Planning\\_for\\_the\\_Renewable\\_Future\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Planning_for_the_Renewable_Future_2017.pdf).
- IRENA. 2018a. *Power System Flexibility for the Energy Transition. Part I: Overview for Policy Makers*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA\\_Power\\_system\\_flexibility\\_1\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf).
- IRENA. 2018b. *Planning and Prospects for Renewable Power: West Africa*. <https://www.irena.org/publications/2018/Nov/Planning-and-prospects-for-renewable-power>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- IRENA. 2020. *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050 (Edition 2020)*. Abu Dhabi: Agencia de Energía Renovable Internacional. ISBN 978-92-9260-238-3.
- IRENA. 2021a. *Soutien à la Révision des CDN—Rapport Final: Renforcement de Capacités en Modélisation Énergétique à Long Terme—Gabon*. [https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Topics/Energy-Transition/Gabon\\_rapport\\_final\\_B046.pdf](https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Topics/Energy-Transition/Gabon_rapport_final_B046.pdf).
- IRENA. 2021b. *Planning and Prospects for Renewable Power: Eastern and Southern Africa*. <https://www.irena.org/publications/2021/Apr/Planning-and-prospects-for-renewable-power-Eastern-and-Southern-Africa>.
- IRENA. 2021c. *Feuille de Route pour le Sous-Secteur Électricité à l'horizon 2035—Niger*. [https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Topics/Energy-Transition/20210714-Niger\\_feuille\\_de\\_route\\_lectricit\\_C056\\_updated.pdf](https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/Topics/Energy-Transition/20210714-Niger_feuille_de_route_lectricit_C056_updated.pdf).
- IRENA. 2022a. *Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part I—Trade Outlook for 2050 and Way Forward*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Global-Hydrogen-Trade-Outlook>.



- IRENA. 2022b. "Renewable Power Generation Costs in 2021." <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>
- IRENA. 2022c. *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>.
- IRENA. 2023a. *Planning and Prospects for Renewable Power: North Africa*. Abu Dhabi: Agencia de Energía Renovable Internacional.
- IRENA. 2023b. *The Cost of Financing for Renewable Power*. <https://www.irena.org/Publications/2023/May/The-cost-of-financing-for-renewable-power>.
- IRENA and State Grid Corporation of China. 2019. *Electrification with Renewables: Driving the Transformation of Energy Services*. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Electrification-with-Renewables>.
- Jacobson, Mark Z. y Mark A. Delucchi. 2018. "100% Clean, Renewable Energy Studies Provide Scientific Solution That Policymakers Can Rely On." *The Electricity Journal* 31 (2): 78–80. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2017.11.011>.
- Kenya Power. 2021. *Annual Report and Financial Statements—30th June 2021*. <https://www.kplc.co.ke/img/full/KPLC%20Annual%20Report%20and%20Financial%20Statements%20for%20the%20year%20ended%2030.6.2021.pdf>.
- Kinch, Diana. 2022. "Direct-Reduced Iron Becomes Steel Decarbonization Winner." Blog. Junio de 2022. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/metals/062222-dri-steel-decarbonization-direct-reduced-iron>.
- Koc, Cagan, Katarina Hoije y Diederik Baazil. 2022. "Europe Optimal Market for Senegal's Gas, President Sall Says." <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-08/europe-optimal-market-for-senegal-s-gas-president-sall-says>.
- Kuhudzai, Remeredzai Joseph. 2022. "President William Ruto Sworn In, Reaffirms Kenya's Commitment to Transition to 100% Clean Energy by 2030." <https://cleantechnica.com/2022/09/13/president-william-ruto-sworn-in-reaffirms-kenyas-commitment-to-transition-to-100-clean-energy-by-2030>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- Le Figaro*. 2022. "Énergies Fossiles : L'Afrique Est «Punie», Estime le Président du Niger." <https://www.aljazeera.com/news/2022/6/15/africa-punished-by-investment-clamp-on-fossils-says-niger>.
- Lee, Jonathan T. y Duncan S. Callaway. 2018. "The Cost of Reliability in Decentralized Solar Power Systems in Sub-Saharan Africa." *Nature Energy* 3 (11): 960–68. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0240-y>.
- Lee, Kenneth, Eric Brewer, Carson Christiano, Francis Moyo, Edward Miguel, Matthew Podolsky, Javier Rosa y Catherine Wolfram. 2016. "Electrification for 'Under Grid' Households in Rural Kenya." *Development Engineering* 1 (Junio): 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2015.12.001>.
- Liebreich, Michael. 2022. "The Unbearable Lightness of Hydrogen." Blog. 12 de diciembre. <https://about.bnef.com/blog/liebreich-the-unbearable-lightness-of-hydrogen/>.
- Lovins, Amory B. 2017. "Reliably Integrating Variable Renewables: Moving Grid Flexibility Resources from Models to Results." *The Electricity Journal* 30 (10): 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2017.11.006>.
- Lucas, Paul L., Anteneh G. Dagnachew y Andries F. Hof. 2017. *Towards Universal Electricity Access in Sub-Saharan Africa—A Quantitative Analysis of Technology and Investment Requirements*. [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2017-towards-universal-electricity-access-in-sub-saharan-africa-1952\\_3.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2017-towards-universal-electricity-access-in-sub-saharan-africa-1952_3.pdf).
- McKinsey. 2021. *Africa's Green Manufacturing Crossroads: Choices for a Low-Carbon Industrial Future*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/africas-green-manufacturing-crossroads-choices-for-a-low-carbon-industrial-future>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- McKinsey. 2022. *The Future of African Oil and Gas: Positioning for the Energy Transition*. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-future-of-african-oil-and-gas-positioning-for-the-energy-transition>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- Mentis, Dimitrios, Mark Howells, Holger Rogner, Alexandros Korkovelos, Christopher Arderne, Eduardo Zepeda, Shahid Siyal, et al. 2017. "Lighting the World: The First Application of an Open Source, Spatial Electrification Tool (OnSSET) on Sub-Saharan Africa." *Environmental Research Letters* 12 (8): 085003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7b29>.
- Mihalyi, David y Thomas Scurfield. 2020. *How Did Africa's Prospective Petroleum Producers Fall Victim to the Presource Curse?* <https://documents1.worldbank.org/curated/en/274381599578080257/pdf/How-Did-Africas-Prospective-Petroleum-Producers-Fall-Victim-to-the-Presource-Curse.pdf>.
- Mulugetta, Yacob, Youba Sokona, Philipp A. Trotter, Samuel Fankhauser, Jessica Omukuti, Lucas Somavilla Croxatto, Bjarne Steffen, et al. 2022. "Africa Needs Context-Relevant Evidence to Shape Its Clean Energy Future." *Nature Energy*, Octubre. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01152-0>.
- NEITI (Nigeria Extractive Industries Transparency Initiative). 2022. *NEITI 2020—Oil and Gas Industry Report*. <https://neiti.gov.ng/cms/wp-content/uploads/2022/03/NEITI-OGA-2020-Report.pdf>.

NewClimate Institute. 2021. *PROSPECTS+—a Tool for Climate Policy Analysis at the Sectoral and National Level*. [https://newclimate.org/sites/default/files/2020/02/PROSPECTS\\_Methodology.pdf](https://newclimate.org/sites/default/files/2020/02/PROSPECTS_Methodology.pdf).

Ouedraogo, Nadia S. 2017. "Modeling Sustainable Long-Term Electricity Supply-Demand in Africa." *Applied Energy* 190 (Marzo): 1047–67. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.162>.

Our World in Data. 2022. *Per Capita Electricity Generation, 2021*. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-generation>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.

Oyewo, Ayobami, Arman Aghahosseini, Manish Ram y Christian Breyer. 2020. "Transition towards Decarbonised Power Systems and Its Socio-Economic Impacts in West Africa." *Renewable Energy* 154 (Julio): 1092–1112. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.085>.

Oyewo, Ayobami, Dmitrii Bogdanov, Arman Aghahosseini, Theophilus Mensah y Christian Breyer. 2022. "Contextualizing the Scope, Scale, and Speed of Energy Pathways toward Sustainable Development in Africa." *iScience* 25 (9). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104965>.

Oyewo, Ayomabi, Sebastian Sterl, Siavash Khalili y Christian Breyer. 2023. "Highly Renewable Energy Systems in Africa—Rationale, Research, and Recommendations." *Joule* 7, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.06.004>

Pelz, Daniel. 2022. "Germany-Senegal Gas Plan Sparks Outcry." <https://www.dw.com/en/germany-senegal-gas-plan-sparks-outcry-from-environmentalists/a-62673733>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.

PwC Africa Power and Utilities Sector Survey. 2015. *A New Africa Energy World—A More Positive Power Utilities Outlook*. <https://www.pwc.com/gx/en/utilities/publications/assets/pwc-africa-power-utilities-survey.pdf>.

Ram, Manish, Dmitrii Bogdanov, Arman Aghahosseini, Ashish Gulagi, Solomon A. Oyewo, Michael Child, Upeksha Caldera, et al. 2019. *Global Energy System Based on 100% Renewable Energy—Power, Heat, Transport and Desalination*. Estudio de Lappeenranta University of Technology y Energy Watch Group. Lappeenranta, Finlandia y Berlín, Alemania. Marzo. Disponible en [http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG\\_LUT\\_100RE\\_All\\_Sectors\\_Global\\_Report\\_2019.pdf](http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf)

Rystad Energy. 2019. *BEIS Fossil Fuel Supply Curves*. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/863800/fossil-fuel-supply-curves.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/863800/fossil-fuel-supply-curves.pdf).

SE4ALL and CPI (Climate Policy Initiative). 2021. *Energizing Finance—Understanding the Landscape 2021*. <https://www.seforall.org/system/files/2021-10/EF-2021-UL-SEforALL.pdf>.

Semieniuk, Gregor, Philip B. Holden, Jean-Francois Mercure, Pablo Salas, Hector Pollitt, Katharine Jobson, Pim Vercoulen, et al. 2022. "Stranded Fossil-Fuel Assets Translate to Major Losses for Investors in Advanced Economies." *Nature Climate Change* 12 (6): 532–38. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01356-y>.

Sterl, Sebastian. 2021a. "A Grid for All Seasons: Enhancing the Integration of Variable Solar and Wind Power in Electricity Systems across Africa." *Current Sustainable/Renewable Energy Reports* 8 (Agosto): 274–81. <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00192-6>.

Sterl, Sebastian. 2021b. "Seasons of Power: Streamlining Strategies for Renewable Electricity Generation from Sun, Wind and Water in sub-Saharan Africa." Tesis de doctorado. Bruselas, Bélgica: Vrije Universiteit Brussel and KU Leuven. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33395.86568/1>.

Sterl, Sebastian y Wim Thiery. 2022. "La Faisabilité du Solaire PV pour Remplacer la Centrale Hydroélectrique de Koukoutamba en Guinée—Étude Quantitative." Bruselas, Bélgica: Vrije Universiteit Brussel. [https://researchportal.vub.be/files/92042463/VUB\\_2022\\_La\\_faisabilite\\_du\\_solaire\\_PV\\_pour\\_remplacer\\_la\\_centrale\\_hydro\\_electrique\\_de\\_Koukoutamba\\_en\\_Guinee\\_etude\\_quantitative\\_num\\_rique\\_.pdf](https://researchportal.vub.be/files/92042463/VUB_2022_La_faisabilite_du_solaire_PV_pour_remplacer_la_centrale_hydro_electrique_de_Koukoutamba_en_Guinee_etude_quantitative_num_rique_.pdf).

Sterl, Sebastian, Jing Zhang, Markus Hagemann, Lindee Wong, Tom Berg, Yvonne Deng, Jeroen de Beer, et al. 2017. "Manufacturing a Low-Carbon Society: How Can We Reduce Emissions from Cement and Steel?" [https://climateanalytics.org/media/memo\\_decarb\\_industry\\_final.pdf](https://climateanalytics.org/media/memo_decarb_industry_final.pdf).

Sterl, Sebastian, Inne Vanderkelen, Celray James Chawanda, Daniel Russo, Robert J. Brecha, Ann van Griensven, Nicole P. M. van Lipzig y Wim Thiery. 2020. "Smart Renewable Electricity Portfolios in West Africa." *Nature Sustainability* 3 (9): 710–19. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0539-0>.

Sterl, Sebastian, Dalia Fadly, Stefan Liersch, Hagen Koch y Wim Thiery. 2021. "Linking Solar and Wind Power in Eastern Africa with Operation of the Grand Ethiopian Renaissance Dam." *Nature Energy* 6 (4): 407–18. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00799-5>.

Sterl, Sebastian, Bilal Hussain, Asami Miketa, Yunshu Li, Bruno Merven, Mohammed Bassam Ben Ticha, Mohamed A. Eltahir Elabbas, Wim Thiery y Daniel Russo. 2022. "An All-Africa Dataset of Energy Model 'Supply Regions' for Solar Photovoltaic and Wind Power." *Scientific Data* 9: 664. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01786-5>.

Sweerts, Bart, Francesco Dalla Longa y Bob van der Zwaan. 2019. "Financial De-risking to Unlock Africa's Renewable Energy Potential." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 102 (Marzo): 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.039>.

- Taliotis, Constantinos, Abhishek Shivakumar, Eunice Ramos, Mark Howells, Dimitris Mentis, Vignesh Sridharan, Oliver Broad y Linus Mofo. 2016. "An Indicative Analysis of Investment Opportunities in the African Electricity Supply Sector—Using TEMBA (The Electricity Model Base for Africa)." *Energy for Sustainable Development* 31 (Abril): 50–66. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2015.12.001>.
- Trimble, Chris, MasamiKojima, Ines Perez Arroyo, y Farah Mohammadzadeh. 2016. "Financial Viability of Electricity Sectors in Sub-Saharan Africa—Quasi-Fiscal Deficits and Hidden Costs." Documento de trabajo sobre investigaciones de políticas 7788. Washington, DC: Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/24869/WPS7788.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- Trotter, Philipp A., y AoifeBrophy. 2022. "Policy Mixes for Business Model Innovation: The Case of Off-Grid Energy for Sustainable Development in Sub-Saharan Africa." *Research Policy* 51 (6): 104528. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104528>.
- Twesigye, Peter. 2022. "Structural, Governance, & Regulatory Incentives for Improved Utility Performance: A Comparative Analysis of Electric Utilities in Tanzania, Kenya, and Uganda." *Utilities Policy* 79 (Diciembre): 101419. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101419>.
- ONU (Naciones Unidas) 2022. *Revision of World Population Prospects*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. <https://population.un.org/wpp/>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- CEPA (Comisión Económica para África de las Naciones Unidas). 2020. *Natural Gas: Africa's Energy Transition Accelerator*. <https://repository.uneca.org/bitstream/handle/10855/43686/b11982755.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- UNECA. 2022. "Zambia and DRC Sign Cooperation Agreement to Manufacture Electric Batteries." <https://www.uneca.org/stories/zambia-and-drc-sign-cooperation-agreement-to-manufacture-electric-batteries>. Con acceso el viernes, 6 de enero de 2023.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2020. *Used Vehicles and the Environment. A Global Overview of Used Light Duty Vehicles: Flow, Scale and Regulation*. <https://www.unep.org/resources/report/global-trade-used-vehicles-report> Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2021. "New Financial Alliance for Net Zero Emissions Launches." <https://unfccc.int/news/new-financial-alliance-for-net-zero-emissions-launches>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos). 2022. *2017–2018 Minerals Yearbook—Guinea*. <https://pubs.usgs.gov/myb/vol3/2017-18/myb3-2017-18-guinea.pdf>.
- WEForum (Foro Económico Mundial). 2022. *How Africa Could Become a Global Hydrogen Powerhouse*. <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/africa-hydrogen-iea/>.
- World Bank. 2022a. *Agricultural Land (Sq. Km)*. (Base de datos) <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.AGRI.K2>.
- World Bank. 2022b. *Consumo de fertilizantes (% de producción de fertilizantes)*. (Base de datos) <https://data.worldbank.org/indicator/AG.CON.FERT.PT.ZS>.
- World Bank. 2022c. *Consumo de fertilizantes (Kilogramos por hectárea de tierra arable)*. (Base de datos) <https://data.worldbank.org/indicator/AG.CON.FERT.ZS>.
- Grupo del Banco Mundial. 2020. *Global Wind Atlas*. <https://globalwindatlas.info/>. Con acceso el 7 de noviembre de 2022.
- Asociación Mundial del Acero. 2021. *2021 World Steel in Figures*. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2021-World-Steel-in-Figures.pdf>.
- Wu, Grace C., Ranjit Deshmukh, Kudakwashe Ndhlukula, Tijana Radojicic, Jessica Reilly-Moman, Amol Phadke, Daniel M. Kammen, y Duncan S. Callaway. 2017. "Strategic Siting and Regional Grid Interconnections Key to Low-Carbon Futures in African Countries." *Minutas de la Academia Nacional de Ciencias* 114 (15): E3004–12. <https://doi.org/10.1073/pnas.1611845114>.



---

## RECONOCIMIENTOS

Tenemos el placer de reconocer a nuestros socios estratégicos institucionales que proporcionan los fondos fundamentales a WRI: el Ministerio de Asuntos Exteriores de los Países Bajos, el Real Ministerio de Asuntos Exteriores de Dinamarca y la Agencia Sueca de Cooperación para el Desarrollo Internacional.

Reconocemos con agradecimiento la financiación de la Fundación ClimateWorks, la Fundación Africana para el Clima (ACF) y la Fundación Europea para el Clima (ECF).

## ACERCA DE LOS AUTORES

**El Prof. Dr. Sebastian Sterl** es Investigador asociado principal en WRI Africa sobre transiciones energéticas limpias.

Contacto: [sebastian.sterl@wri.org](mailto:sebastian.sterl@wri.org)

**La Dra. Rebekah Shirley** es la Directora adjunta de WRI para África.

Contacto: [rebekah.shirley@wri.org](mailto:rebekah.shirley@wri.org)

**Rose Dortch** es Gerente de proyectos sobre energía y financiamiento sostenible en ETC, organizada por Systemiq Ltd.

Contacto: [rose.dortch@systemiq.earth](mailto:rose.dortch@systemiq.earth)

**Min Guan** es líder de equipo en Transformación estratégica — Transición energética en la ETC.

Contacto: [min.guan@systemiq.earth](mailto:min.guan@systemiq.earth)

**Adair Turner** es el Presidente de la ETC.

Contacto: [adair.turner@systemiq.earth](mailto:adair.turner@systemiq.earth)

## Fotos

Cubierta, Dai Kurokawa/EPA; p. 2, Erik Hathaway;  
p. 4, Sebastian Sterl; p. 10, Daggy J Ali; p. 14, Uganda Crafts;  
p. 16, Michael Muli.

## ACERCA DEL WRI

El Instituto de Recursos Mundiales es una organización de investigación internacional que convierte a las grandes ideas en acción en el nexo entre el medio ambiente, la oportunidad económica y el bienestar de los seres humanos.

### Nuestro desafío

Los recursos naturales son la base de la oportunidad económica y del bienestar de los seres humanos. Pero actualmente, agotamos los recursos de la tierra a una velocidad que no es sostenible, y así ponemos en riesgo las economías y las vidas de las personas. Las personas dependen del agua potable, la tierra fértil, los bosques saludables y el clima estable. Las ciudades vivibles y la energía limpia son fundamentales para un planeta sostenible. Debemos abordar estos desafíos urgentes y globales durante esta década.

### Nuestra visión

Imaginamos un planeta equitativo y próspero, impulsado por el manejo inteligente de los recursos naturales. Aspiramos a crear un mundo en el que las acciones de los gobiernos, las empresas y las comunidades se combinen para eliminar la pobreza y sostener el ambiente natural para todas las personas.

## ACERCA DE LA ETC

La ETC (Comisión de Transición Energética) es una coalición global de líderes del panorama energético comprometidos en lograr las emisiones de cero neto a mediados de siglo, en línea con el objetivo de cambio climático del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a muy por debajo de 2 °C e, idealmente, a 1.5 °C.

Los comisionados de la ETC provienen de un rango de organizaciones: productores de energía, industrias de gran consumo energético, proveedores de tecnología, actores financieros y organizaciones medioambientales no gubernamentales, que operan en países desarrollados y en desarrollo, y que desempeñan diferentes roles en la transición energética. Esta diversidad de puntos de vista informa el trabajo de la ETC, cuyos análisis se desarrollan con una perspectiva de sistemas mediante intercambios intensos con expertos y profesionales.



WORLD  
RESOURCES  
INSTITUTE

10 G Street, NE  
Washington, DC 20002  
WRI.ORG