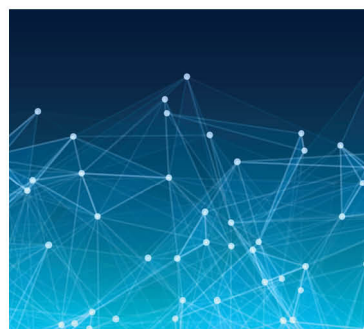
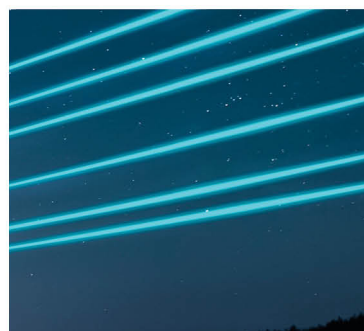
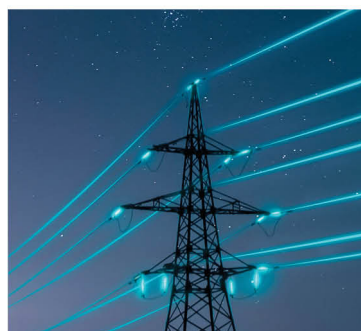
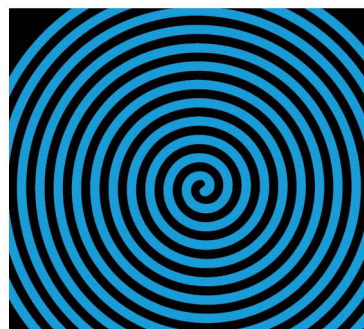
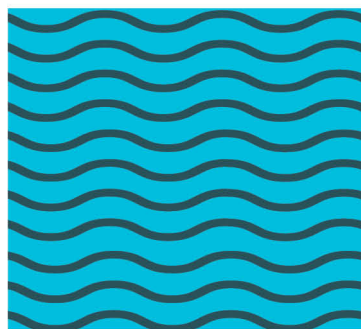


Desde la red eléctrica hasta la Internet de banda ancha: Soluciones sostenibles e innovadoras para el suministro de electricidad en favor de la conectividad rural



**Desde la red eléctrica hasta
la Internet de banda ancha:
Soluciones sostenibles
e innovadoras para el
suministro de electricidad en
favor de la conectividad rural**

2023



Agradecimientos

El presente informe fue elaborado para la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) por los expertos externos Donald Browne-Marke y Charlotte Aubin, con importantes aportaciones escritas de Désiré Karyabwite e Istvan Bozsoki (ya jubilados) de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la Unión.



Antes de imprimir este informe, piense en el medio ambiente.

© ITU 2023

Algunos derechos reservados. Esta obra está licenciada al público a través de una licencia Creative Commons Attribution-Non Commercial- Share Alike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 OIG).

Con arreglo a los términos de esta licencia, usted puede copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que la obra sea citada apropiadamente. Cualquiera que sea la utilización de esta obra, no debe sugerirse que la UIT respalde a ninguna organización, producto o servicio específico. No se permite la utilización no autorizada de los nombres o logotipos de la UIT. Si adapta la obra, deberá conceder una licencia para su uso bajo la misma licencia Creative Commons o una equivalente. Si realiza una traducción de esta obra, debe añadir el siguiente descargo de responsabilidad junto con la cita sugerida: "Esta traducción no fue realizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La UIT no se responsabiliza del contenido o la exactitud de esta traducción. La edición original en inglés será la edición vinculante y auténtica". Para más información, sírvase consultar la página <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>

Descargos de responsabilidad

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de opinión alguna por parte de la UIT ni de su Secretaría en relación con la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o zona ni de sus autoridades, ni en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas específicas o de productos de determinados fabricantes no implica que la UIT los apruebe o recomiende con preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Salvo error u omisión, las denominaciones de los productos patentados se distinguen mediante iniciales en mayúsculas.

La UIT ha tomado todas las precauciones razonables para comprobar la información contenida en la presente publicación. Sin embargo, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni expresa ni implícita. La responsabilidad respecto de la interpretación y el uso del material recae en el lector.

Las opiniones, resultados y conclusiones que se expresan en la presente publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la UIT o de sus miembros.

ISBN

978-92-61-35963-8 (Versión electrónica)

978-92-61-35973-7 (Versión EPUB)

978-92-61-35983-6 (Versión MOBI)

Índice

Agradecimientos	ii
Prólogo	x
Resumen	xii
1 Antecedentes	1
2 Introducción	3
3 Situación del acceso de banda ancha en las zonas rurales.....	5
3.1 Urbanización - migración de la población desde las zonas rurales	5
3.2 La infraestructura en las zonas rurales.....	7
3.3 La brecha entre las zonas urbanas y las zonas rurales respecto del acceso a Internet - la población no conectada en los países en desarrollo	7
3.4 Lograr la conectividad universal	9
3.5 Infraestructura de banda ancha en zonas rurales	9
3.5.1 Redes de acceso inalámbrico.....	10
3.5.2 Cobertura móvil celular.....	11
3.5.3 Infraestructura de acceso de banda ancha en zonas rurales	12
3.5.4 Redes móviles celulares.....	12
3.5.5 Futuras redes 5G - servicios innovadores	15
3.5.6 Las tecnologías por satélite en órbita terrestre baja - zonas rurales insuficientemente atendidas	17
3.5.7 Sistemas de plataformas a gran altitud.....	18
3.5.8 Solución de energía renovable para las estaciones de base 5G.....	18
4 Falta de acceso a la electricidad	20
4.1 Desafíos energéticos que limitan la expansión de la banda ancha.....	20
4.2 Energía sostenible para todos.....	22
4.3 El déficit energético rural en los países en desarrollo	23
4.4 La transición hacia una infraestructura de energías renovables	25
4.5 La mejora de la eficiencia energética - la optimización del consumo	26
5 Las fuentes de energía renovable para la electrificación rural.....	27
5.1 Las energías renovables son más competitivas que las fuentes de combustibles fósiles	27
5.2 Energía solar	30

5.2.1	Panorama de la tecnología solar	32
5.2.2	Disposición de los sistemas solares	33
5.3	Aspectos que deben tenerse en cuenta para valorar los sistemas solares fotovoltaicos	33
5.3.1	Inversores solares – convertidores de corriente	35
5.3.2	Ventajas de los sistemas solares respecto de los generadores diésel ...	35
5.4	Energía eólica	36
5.5	Pilas de combustible	37
5.6	Biomasa	37
5.7	Microsistemas hidroeléctricos	38
5.8	Comparación de fuentes de energía renovables – resumen.....	39
5.9	Sistemas autónomos de energía renovable	41
5.9.1	Minirredes	43
5.9.2	Sistemas autónomos.....	46
5.9.3	Comparación de fuentes de energía renovables y de combustibles fósiles para aplicaciones de minirredes	47
5.10	Componentes básicos de una instalación de minirred:	49
5.11	La red de banda ancha rural alimentada por energía solar – HopScotch Escocia.....	51
5.12	Sistemas energéticos híbridos	54
5.12.1	Minirredes de CA híbridas.....	56
5.12.2	Sistema de minirredes de CC híbridas	57
5.13	Sistema híbrido de generación de energía solar y diésel	59
5.14	Sistema de energía solar fotovoltaica y generadores diésel	60
5.15	Soluciones de almacenamiento	63
5.15.1	Baterías de plomo-ácido.....	64
5.15.2	Baterías de litio.....	64
5.15.3	Baterías de flujo.....	66
5.15.4	Baterías inerciales	66
5.15.5	Baterías de estado sólido	66
5.15.6	Supercondensadores	67
5.16	Transmisión inalámbrica de potencia	67
5.16.1	Acceso a la energía mediante la transmisión inalámbrica de potencia por haces radioeléctricos	68
5.16.2	Acceso a la energía mediante la transmisión inalámbrica de potencia con otras tecnologías	70

6	Mecanismos financieros para las inversiones en energías renovables.....	74
6.1	Financiación de la infraestructura rural de energías renovables	74
6.2	Fondos de servicio universal	75
6.3	Financiación externa	76
6.3.1	Venta de carbono	77
6.3.2	Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL).....	77
6.3.3	Mercado de Créditos de carbono en África (ACCE).....	78
6.3.4	Mercado de Carbono (CTX)	78
6.3.5	Fondo Africano de Energía Renovable (AREF)	79
6.3.6	Energía para África, más allá de la red.....	80
6.3.7	Fondo de Energía Sostenible para África (SEFA)	80
6.3.8	Fondo de la OPEP para el Desarrollo Internacional (OFID).....	81
6.3.9	Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).....	82
6.3.10	Alianza para las Energías Renovables y la Eficiencia Energética (AEREE).....	83
6.3.11	Fondo de Impacto del Departamento de Desarrollo Internacional (DFID) del Reino Unido	85
6.3.12	Energía Sostenible para el Desarrollo Económico (SEED).....	86
6.3.13	Plataforma para el Rendimiento de las Energías Renovables (REPP)	87
6.3.14	Resumen de las categorías de opciones de financiación.....	89
6.3.15	Financiación de infraestructuras de banda ancha para reducir al mínimo los riesgos para los inversores privados.....	89
6.3.16	Las telecomunicaciones y la energía juntas en pro del desarrollo sostenible	90
7	Mecanismos y recomendaciones de política	91
7.1	Introducción	91
7.2	Políticas digitales.....	93
7.3	Consideraciones en materia de política digital.....	93
7.4	Recomendaciones de política operacional de minirredes.....	97
7.5	Políticas específicas sin conexión a la red.....	98
8	Conclusión	99
9	Anexos y estudios de caso.....	100
9.1	Empresas de servicios energéticos.....	100
9.2	Soluciones financieras, contractuales y operativas típicas.....	102
9.3	Comunidades ecológicas inteligentes	104
9.3.1	La plataforma Smart Communities	104

9.3.2	Modelo de negocio	105
9.3.3	Servicios fundamentales	106
9.3.4	Responsabilidad Social Empresarial (RSE)	107
9.4	Enlaces útiles:	108
Acrónimos		110

Lista de figuras, recuadros y cuadros

Figuras

Figura 1: Personas que utilizan Internet, 2005-2022	4
Figura 2: Porcentaje de personas que utilizan Internet, 2022.....	4
Figura 3: Parte de la población que vive en zonas urbanas	5
Figura 4: Parte de la población que vive en zonas urbanas	6
Figura 5: Porcentaje de personas que utilizan Internet en las zonas urbanas y rurales, 2022.....	8
Figura 6: Disposición de la red de telecomunicaciones	10
Figura 7: Cobertura móvil de la población, desglosada por red, 2015-2022	12
Figura 8: Arquitectura de red móvil	14
Figura 9: Sistema de múltiples entradas de fuentes de energía para una estación de base 5G, con inclusión de energía renovable.....	19
Figura 10: La banda ancha sigue siendo costosa en los PMA	20
Figura 11: Población rural sin acceso a la electricidad.....	24
Figura 12: Porcentaje de la población con acceso a la electricidad (urbana y rural)	25
Figura 13: Crecimiento de la capacidad en energías renovables entre 2019 y 2024, desglosado por tecnología (en gigavatios)	28
Figura 14: Capacidad de generación de energía instalada y prevista, desglosada por fuente, entre 2000 y 2040	29
Figura 15: Costos de la generación de energía renovable en 2018.....	30
Figura 16: Reducción del precio de la energía solar fotovoltaica	31
Figura 17: Precios más bajos de la energía solar subastados en 2018	32
Figura 18: Perfil de carga diaria típico en zona rural	34
Figura 19: Irradiación solar media mundial	35
Figura 20: Potencia de salida de las turbinas eólicas y altura de la torre	37
Figura 21: Segmento de minirredes (una función cada vez más importante asumida por las minirredes y las energías renovables).....	42
Figura 22: Funcionalidades de las minirredes.....	50
Figura 23: Sistema de alimentación en minirred híbrida acoplado a la CA	58
Figura 24: Red híbrida de CC - energía eólica y solar fotovoltaica.....	58
Figura 25: Ilustración de diferentes modos de funcionamiento de los sistemas híbridos	60
Figura 26: Estudio sobre el precio de las baterías de iones de litio: división entre el conjunto de baterías y la célula	65
Figura 27: Escenario típico de transmisión inalámbrica de potencia	68
Figura 28: Imagen de TIP punto a punto.....	69
Figura 29: Experimento de transmisión de potencia punto a punto de una milla con una antena parabólica de 26 m y un klistrón de 450 kW, 2,388 GHz como transmisor y una matriz de rectenas de 3,4 × 7,2 m como receptor	69

Figura 30: Diagrama de bloques de un sistema de TIP de inducción magnética convencional	71
Figura 31: Diagrama de bloques de un sistema de TIP de resonancia magnética convencional	72
Figura 32: Ejemplo de dispositivos TIP fijos.....	72
Figura 33: Ahorro anual de costes de la industria debido a la transición hacia soluciones energéticas ecológicas (en miles de millones de dólares)	90
Figura 34: Soluciones de las empresas de servicios energéticos en África	101
Figura 35: Ejemplo de soluciones contractuales y técnicas para las empresas de telecomunicaciones	102
Figura 36: Ejemplo de una solución técnica fiable	104
Figura 37: Ejemplo de una aldea verde inteligente	105
Figura 38: Comunidades ecológicas inteligentes y ODS	108

Recuadros

Recuadro 1: Anatomía de una red móvil.....	14
Recuadro 2: Huawei – Enfoque multiniveles del espectro.....	16

Cuadros

Cuadro 1: Comparación de velocidades habituales del servicio de banda ancha fija	11
Cuadro 2: Evolución de las redes móviles	13
Cuadro 3: Ventajas de las fuentes de energía renovable	39
Cuadro 4: Marco de Seguimiento Mundial 11 de la iniciativa SE4ALL de las Naciones Unidas.....	44
Cuadro 5: Intervenciones relativas al acceso a la energía y ventajas en materia de eficiencia energética – Oportunidades en contexto	45
Cuadro 6: Características de soluciones de energía renovable en minirredes y sin conexión a la red, 2012/13	48
Cuadro 7: Clasificación de políticas	94

Prólogo



Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) desempeñan un papel fundamental en la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

La disponibilidad de la energía es indispensable para el sector de las TIC, sus servicios y aplicaciones. La mayoría de las TIC necesitan la electricidad para recargar dispositivos, alimentar las estaciones de base móviles, explotar los centros de datos y llevar a cabo operaciones en las redes, entre otros muchos fines. El acceso a la electricidad de manera segura y asequible sigue siendo una importante limitación, especialmente en los países menos adelantados (PMA) del mundo, los países en desarrollo sin litoral (PDSL), los pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID) y en las zonas rurales y distantes donde la población podría sacar los mayores beneficios del poder transformador de las TIC, pero escasea el acceso a la electricidad en red y los ingresos son bajos.

Existe una relación simbiótica entre la energía y la conectividad a Internet en los lugares que siguen sin conexión, en particular debido a que los modelos de negocio autónomos dependen de la conectividad para la gestión a distancia. Además, los modelos de negocio de la conectividad se benefician del creciente uso de los servicios móviles, especialmente los servicios financieros.

Las redes de electricidad también se pueden aprovechar para ampliar las redes troncales de banda ancha nacionales y rurales. La compartición y reutilización de infraestructuras puede ser una importante herramienta para ahorrar costos y ampliar los servicios, lo cual pone de manifiesto la importancia de la cooperación y coordinación entre los sectores de las TIC y la energía para conectar las zonas rurales.

Aunque existe una amplia gama de fuentes de energía renovable, el suministro de dicha energía por los métodos tradicionales puede resultar costoso. Con frecuencia, el costo prohibitivo de la instalación y el mantenimiento de las líneas y los eléctricos priva a muchas personas de las zonas rurales de una fuente de energía segura. En esas situaciones, las tecnologías espaciales y las nuevas tecnologías de banda ancha por satélite, así como las soluciones innovadoras como los sistemas de transmisión inalámbrica de potencia pueden ofrecer una solución para conseguir una conectividad a Internet rentable.

La UIT está comprometida a trabajar con las partes interesadas para mejorar la conectividad a Internet de banda ancha, encontrar métodos innovadores para suministrar energía limpia de manera segura y eficiente a las zonas rurales y distantes, y cumplir los objetivos en materia climática establecidos en el Acuerdo de París de 2015.

Exhortamos a los gobiernos, a los responsables políticos y a los organismos reguladores a que revisen en consecuencia sus planes nacionales de banda ancha. Las pautas establecidas en el presente documento se han elaborado para ayudar a los Estados Miembros, los organismos reguladores y las partes interesadas del sector privado a renovar sus redes y a incorporar la utilización apropiada de redes modernas y más eficaces desde el punto de vista energético,

en particular la electricidad inalámbrica (el transporte de energía eléctrica sin cables) y las comunicaciones por línea eléctrica. En particular, las pautas serán útiles para la Agenda Conectar 2030 de la UIT, a fin de brindar conexión a Internet a todas las escuelas, hospitales, administraciones, empresas e instituciones comunitarias, y con miras a apoyar a los países a prepararse para desarrollar TIC más ecológicas, comunidades ecológicas inteligentes, y redes eléctricas inteligentes que puedan servir para construir sistemas más controlables y eficaces desde el punto de vista energético.



Dr. Cosmas Luckyson Zavazava
Director de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

Resumen

El acceso a la electricidad es fundamental para cerrar la brecha digital en las zonas rurales y crear una sociedad de la información para todos. La disponibilidad de electricidad de manera segura y asequible sigue siendo un importante impedimento, especialmente en los PMA, los PDSL y PEID de todo el mundo, y en particular en las zonas rurales y distantes. El acceso a la electricidad y la conectividad de banda ancha, en particular los servicios y aplicaciones basados en tecnologías de la información y la comunicación (TIC), desempeña una función facilitadora importante en los esfuerzos realizados para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y conectar a las 2 700 millones de personas de todo el mundo que carecen actualmente de acceso a Internet.

Sin electricidad, las personas no pueden acceder a Internet ni, por consiguiente, beneficiarse de la transformación digital de la economía moderna, en particular en los sectores de la educación, la salud, la agricultura y el comercio.

En este informe se examinan las dificultades para proporcionar acceso a la electricidad, lo cual es fundamental para conectar las zonas rurales a Internet.

La falta de acceso a la electricidad en las zonas rurales – principal desafío

- El acceso a la red eléctrica:
 - no está disponible;
 - no es seguro;
 - no es asequible.
- La extensión de la red a las zonas rurales y distantes no es viable desde el punto de vista económico debido a:
 - el alto costo y la gran magnitud de las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica;
 - la baja densidad de población, el esparcimiento de esta y sus hogares;
 - la pobreza de la población, las bajas tarifas;
 - la escasa rentabilidad de las inversiones;
 - la falta de inversiones y financiación de las infraestructuras.

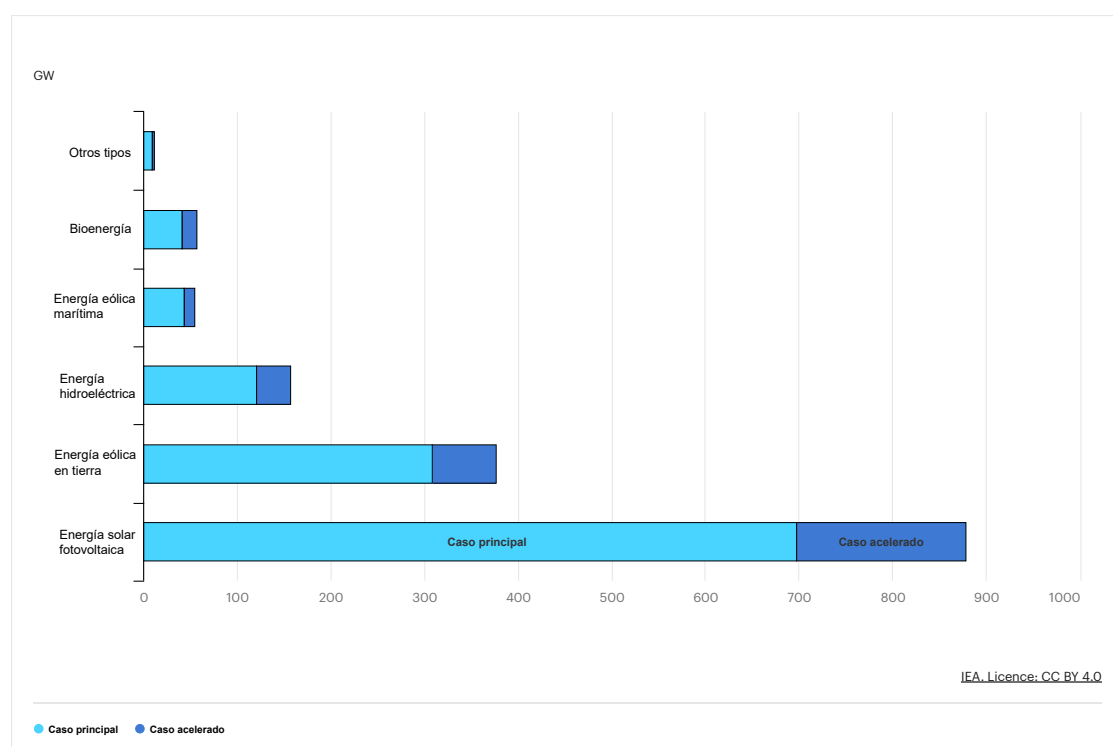
Desafíos para la electrificación rural relacionados con las infraestructuras

- Geografía y terrenos distantes y difíciles.
- Falta de infraestructuras adyacentes fiables, asequibles y seguras, como la red eléctrica.
- Falta de cobertura de Internet móvil o de redes de acceso inalámbrico fijo de banda ancha, y falta de acceso a la banda ancha internacional.
- Falta de instalaciones de TIC en las comunidades rurales.
- Número limitado y ubicación lejana de los emplazamientos para recargar los dispositivos móviles y los equipos TIC de conexión a Internet.
- Pocas soluciones autónomas de energía – suministro por generadores diésel no seguro y soluciones de energías renovables intermitentes.

Desafíos para la extensión de la red eléctrica en las zonas rurales

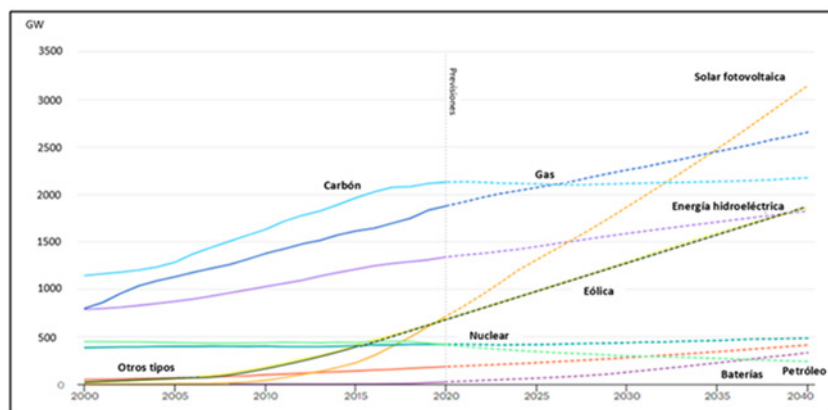
- La red eléctrica nacional solo puede extenderse en zonas muy pobladas.
- Es necesario que haya una posible demanda suficientemente importante para justificar los altos costos de inversión en las líneas de transmisión y distribución.
- Las tarifas de la electricidad por red al por menor -tarifas subvencionadas o y no subvencionadas.

A fin de mejorar el acceso a la electricidad, se necesitan soluciones sostenibles e innovadoras para su suministro a fin de lograr la conectividad rural, que se centren en fuentes de energía renovables para la electrificación rural, fuentes que supongan el menor costo como la energía solar (células fotovoltaicas) y la eólica, así como otras fuentes de energía limpia (energía hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa). En el gráfico que figura a continuación se presentan las previsiones del crecimiento de la capacidad en energías renovables entre 2019 y 2024.



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE), Crecimiento de la capacidad en energías renovables entre 2019 y 2024, desglosado por tecnología.

Capacidad de generación de energía instalada y prevista, desglosada por fuente, entre 2000 y 2040



En este contexto, se puede considerar la posibilidad de utilizar nuevas tecnologías como la transmisión inalámbrica de potencia (TIP) para proporcionar un acceso a Internet rentable. Las normas de la UIT para las soluciones energéticas inteligentes, como la UIT-T L.1380, tratan de las soluciones de energía inteligente para los emplazamientos de telecomunicaciones, en particular del rendimiento, la seguridad, la eficiencia energética y el impacto ambiental de los sistemas alimentados por fuentes de energía como las células fotovoltaicas (FV), las turbinas eólicas, las pilas de combustible y la red. En la Recomendación también se examina el control de la energía inteligente; por ejemplo, para los casos de desconexión de la red, se indican las maneras de gestionar los flujos de energía para lograr una mayor eficiencia energética y las fuentes de energía ecológica.

En la Recomendación UIT-T L.1210 se establecen soluciones de alimentación eléctrica para los equipos y redes 5G, inalámbricas convergentes y de acceso alámbrico, habida cuenta de sus mayores requisitos en relación con la disponibilidad y la fiabilidad del servicio, y las nuevas hipótesis de despliegue, además de las consecuencias ambientales de las soluciones propuestas. Esta Recomendación se aplica a la alimentación en energía de los elementos de red de acceso tanto fija como móvil, en particular de los equipos con configuraciones y necesidades semejantes.

La Recomendación UIT-T L.1382 tiene por objeto acelerar el despliegue de redes, reducir los gastos de capital (CAPEX) y los gastos de explotación (OPEX), optimizar la eficiencia de la inversión y orientar la transformación y optimización de la industria de las TIC. La nueva arquitectura de interconexión de red, las tecnologías de suministro energético y las especificaciones de la Recomendación también promoverán eficazmente la mejora de las tecnologías del sector.

Por último, aunque no por ello menos importante, es posible conectar a un único sistema varios insumos energéticos, como los paneles solares, los sistemas eólicos, las pilas de combustible, las redes eléctricas, los generadores de energía y las baterías. En la Recomendación UIT-T L.1381 se examinan soluciones para controlar estos diferentes insumos energéticos de manera inteligente, a fin de aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono. Además, en lo que respecta a los sistemas de refrigeración inteligentes, en la Recomendación se aborda la utilización del aire frío exterior con fines de refrigeración y la manera de optimizar las soluciones de refrigeración para los equipos de TIC, entre ellas las relativas a la refrigeración de bastidores de TIC, los métodos de refrigeración en fila y la refrigeración líquida.

1 Antecedentes

La Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones de 2022 (CMDT-22), celebrada en Kigali (Rwanda), decidió que la "Conectividad asequible" fuese la principal prioridad del Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-D). Esta prioridad se centra en la utilización de una conectividad moderna, disponible, segura, accesible y asequible mediante el despliegue de infraestructuras y servicios de telecomunicaciones/TIC para la reducción de la brecha digital. Esta prioridad tiene como objetivo fomentar el desarrollo de infraestructuras y servicios aprovechando las tecnologías y los servicios nuevos e incipientes de telecomunicaciones/TIC y los nuevos modelos empresariales. Para ello, se presta asistencia a los Estados Miembros a fin de aumentar y reforzar la confianza y la seguridad en el uso de las telecomunicaciones/TIC.

Del mismo modo en que la población mundial se cifraba en 8 000 millones de habitantes a 15 de noviembre de 2022, se estima que unos 5 300 millones de personas (en torno al 66% de dicha población) ya utilizaban Internet. No obstante, esto significa que unos 2 700 millones de personas carecen totalmente de conexión, por lo que la conectividad universal sigue siendo un objetivo lejano para los países menos adelantados y los países en desarrollo sin litoral, en los que, por término medio, solo el 36% de la población está conectada, según el documento sobre hechos y cifras de 2022 de la UIT ("Facts and Figures 2022"), publicado el 30 de noviembre de 2022.

Al mismo tiempo, si bien los datos reflejan un aumento lento pero constante del número de abonados a la banda ancha fija, el móvil sigue siendo la plataforma de elección predominante para el acceso en línea, en particular en los países de renta baja en los que las conexiones por cable pueden ser escasas y costosas, principalmente para quienes viven fuera de los grandes centros urbanos¹.

La conectividad requiere muchos recursos energéticos y no se conseguirá si no se dispone de un acceso a la energía, en particular a fuentes de energía asequibles, seguras y adaptables. Según las Naciones Unidas², el mundo continúa avanzando para lograr las metas de energía sostenible. Sin embargo, el ritmo actual de progreso es insuficiente para alcanzar el Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7), que consiste en garantizar a todo el mundo una energía asequible, segura, sostenible y moderna para 2030. Por consiguiente, es necesario un impulso importante.

La Meta 7.1 del ODS 7 tiene por objeto garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, seguros y modernos. El Indicador 7.1.1 se centra en la parte de la población que tiene acceso a la electricidad. La Meta 7.2 tiene por objeto aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas. La Meta 7.3 tiene por objeto duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética para 2030.

Se deberá realizar un esfuerzo concertado a nivel mundial para conseguir el objetivo de la conectividad universal asequible, en particular en los países en desarrollo. Actualmente, el mundo centra sus esfuerzos en fomentar la "conectividad universal efectiva", cuyo fin es promover los beneficios de la participación en línea y paliar los posibles inconvenientes de

¹ UIT, *Measuring digital development: Facts and Figures 2022*.

² Naciones Unidas, Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022.

la conectividad digital. En su informe de 2019, la Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas reconoció que el acceso de banda ancha era fundamental para los esfuerzos encaminados a alcanzar los ODS. Además de estar simplemente disponible, el acceso de banda ancha ha de ser accesible, pertinente y asequible, y también debe ser seguro y fiable y tiene que empoderar a los usuarios y tener efectos positivos³.

La adopción de los servicios de banda ancha está principalmente limitada por el hecho de que la mayor parte de la población sin conexión vive en zonas rurales y distantes sin acceso a una red eléctrica que constituya una fuente de energía asequible para las estaciones de base móviles. La UIT ha determinado que la expansión de los servicios digitales de telecomunicaciones en las zonas rurales y distantes está principalmente impulsada por aspectos tecnológicos y económicos relacionados con la prestación de servicios móviles.

Por otro lado, además de estos aspectos, la expansión de la penetración digital es fundamental para conseguir varios de los ODS, como los relativos a la educación, la salud, la financiación, el empoderamiento de la mujer y el acceso a conocimientos, servicios y bienes. La innovación tecnológica en las esferas de la tecnología de la información y las tecnologías limpias tiene por objeto cerrar la brecha digital.

³ UIT y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), *The State of Broadband: Broadband as a Foundation for Sustainable Development*, 2019.

2 Introducción

El acceso a Internet de banda ancha puede transformar vidas y crear oportunidades, y tener efectos económicos y sociales positivos en las comunidades y familias⁴, ⁵. La transmisión de datos de gran calidad y alta velocidad puede fomentar el cambio estructural de sectores esenciales de la economía. No se trata de una simple comodidad: el acceso de banda ancha puede ofrecer a las comunidades insuficientemente atendidas o desatendidas acceso a información y servicios esenciales, y crear oportunidades en beneficio de las empresas, la educación, la salud y los medios de vida de dichas comunidades.

La Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible opina que la banda ancha es fundamental para hacer frente a los desafíos mundiales puestos de manifiesto en los ODS. La Comisión considera que la banda ancha es una de las herramientas más resistentes y eficaces para implementar soluciones transformadoras destinadas a promover el desarrollo sostenible, abordar la igualdad de género y fomentar una economía con bajas emisiones de carbono.

La UIT estima que el 66% de la población mundial, es decir, 5 300 millones de personas, utilizaban Internet en 2022⁶ (véase la Figura 1). En el plano regional, en los países de Europa, la Comunidad de Estados Independientes (CEI) y América, entre un 80% y un 90% de la población utiliza Internet. En los países de las regiones de los Estados Árabes y Asia-Pacífico, en torno a dos tercios de la población (es decir, un 70% y un 64% respectivamente) utiliza Internet, mientras que en África esa proporción es de solo el 40% por término medio.

Si se agrupan los países en función de su grado de desarrollo, se observa que la conectividad universal sigue siendo un objetivo lejano en los PMA y los PDSL, en los que solo el 36% de la población está actualmente conectada (véase la Figura 2). Las desigualdades entre los países son mucho más importantes respecto del acceso a las conexiones fijas que de la conectividad móvil. Si bien las conexiones fijas son habituales en los hogares de los países de renta media alta y de renta alta, apenas existen en los países de renta baja, debido a los altos precios y a la falta de infraestructuras.

Los gobiernos, la industria y las comunidades reconocen que la falta de acceso asequible a la electricidad supone un obstáculo importante a una mayor penetración de los servicios de banda ancha en las zonas rurales y distantes de los países en desarrollo⁷. Por consiguiente, es fundamental brindar acceso a una energía asequible en dichas comunidades insuficientemente atendidas o desatendidas a fin de garantizar el acceso universal a los servicios de banda ancha.

El crecimiento del sector de las energías renovables está creando excelentes oportunidades para implementar soluciones de energías autónomas, limpias y obtenidas a nivel local que utilizan la energía solar, la eólica y otras fuentes renovables. El acceso a estas formas de energía seguras y asequibles no solo reduce los gastos de explotación de los emplazamientos de telecomunicaciones y las instalaciones de TIC sino que también disminuye la pobreza y promueve el desarrollo social y económico de las comunidades rurales.

⁴ Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), *Broadband and The Economy, Ministerial Background Report*, DSTI/ICCP/IE(2007)3/FINAL.

⁵ Banco Mundial, *Connecting for Inclusion: Broadband Access for All*, 18 de septiembre de 2015.

⁶ UIT, *Measuring digital development: Facts and Figures 2022*.

⁷ http://broadbandcommission.org/Documents/ITU_discussion-paper_Davos2017.pdf.

Figura 1: Personas que utilizan Internet, 2005-2022

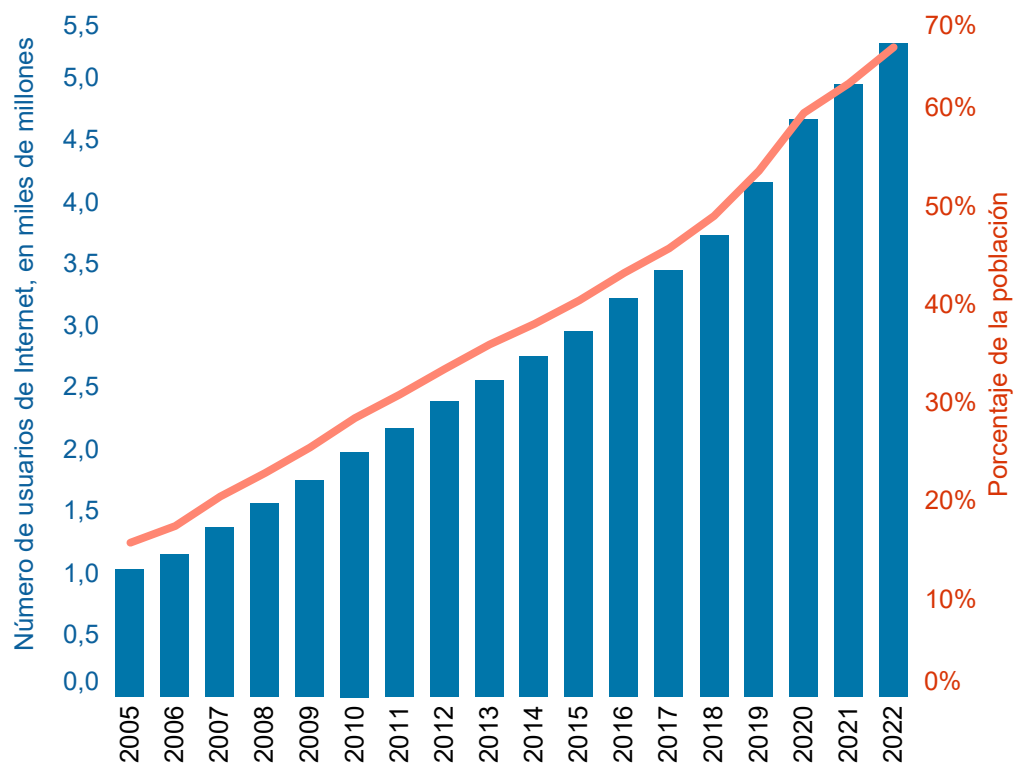
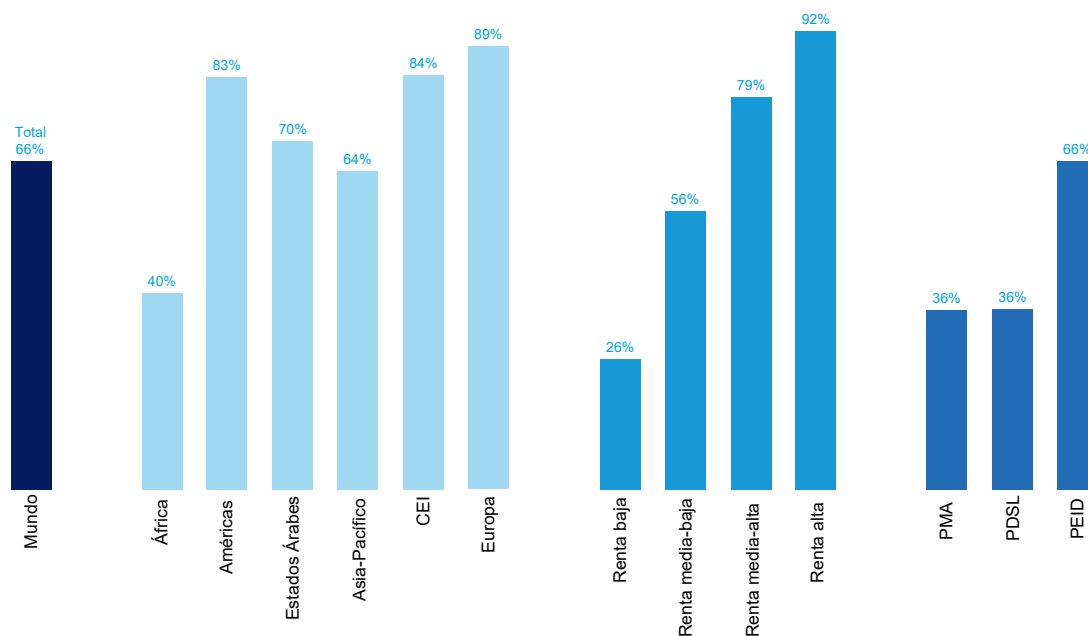


Figura 2: Porcentaje de personas que utilizan Internet, 2022



3 Situación del acceso de banda ancha en las zonas rurales

3.1 Urbanización - migración de la población desde las zonas rurales

Según estadísticas de las Naciones Unidas, 4 200 millones de personas, es decir, el 55% de la población mundial, vivían en zonas urbanas en 2018. El nivel de urbanización en Asia era aproximadamente del 50%, mientras que la mayor parte de África seguía siendo rural y el 43% su población vivía en zonas urbanas (véase la Figura 3).

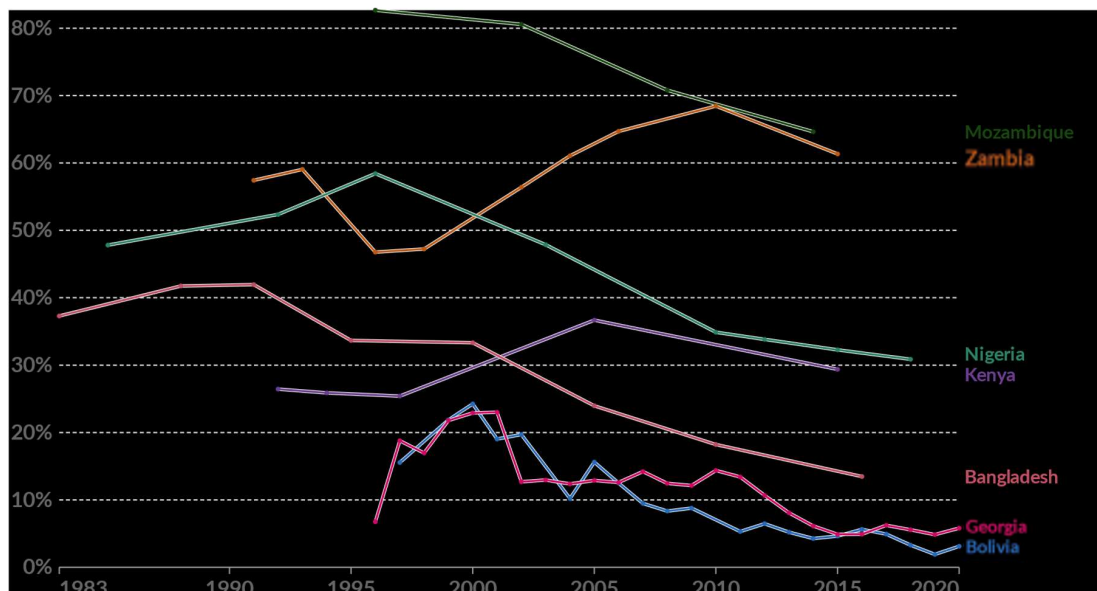
Según las previsiones de las Naciones Unidas, se producirá una migración gradual de la población desde las zonas rurales hasta las zonas urbanas, que podría hacer que a estas zonas se trasladasen 2 500 millones de personas más para 2050. Se ha previsto que la mayor parte de dicho incremento (en torno al 90%) se produzca en Asia y África. A nivel mundial, la población rural aumentó hasta alcanzar los 3 400 millones de habitantes en 2018; tras varios años adicionales de crecimiento (como se muestra en la Figura 4), se ha previsto que disminuya hasta alcanzar los 3 100 millones de habitantes para 2050.

Figura 3: Parte de la población que vive en zonas urbanas

Parte de la población en extrema pobreza, 1983-2020

La extrema pobreza se define como la vida por debajo del umbral internacional de pobreza establecido en 2,15 USD al día. Estos datos se ajustan para tener en cuenta la inflación y las diferencias en el coste de vida entre los países.

Our World
in Data

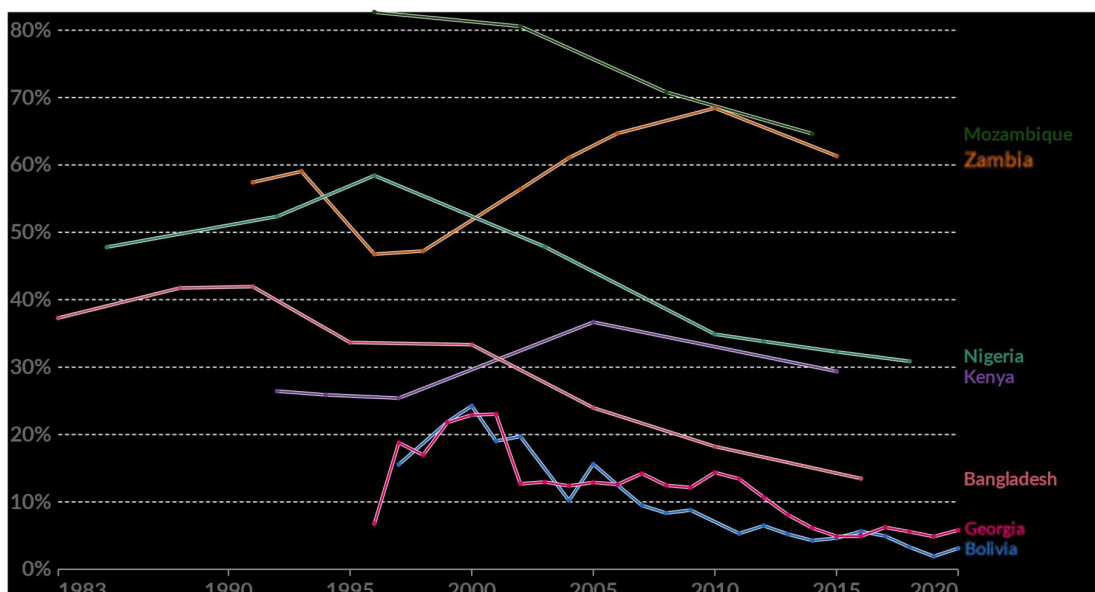


Fuente: [Our World in Data](https://ourworldindata.org/) (<https://ourworldindata.org/>)

Parte de la población en extrema pobreza, 1983-2020

La extrema pobreza se define como la vida por debajo del umbral internacional de pobreza establecido en 2,15 USD al día. Estos datos se ajustan para tener en cuenta la inflación y las diferencias en el coste de vida entre los países.

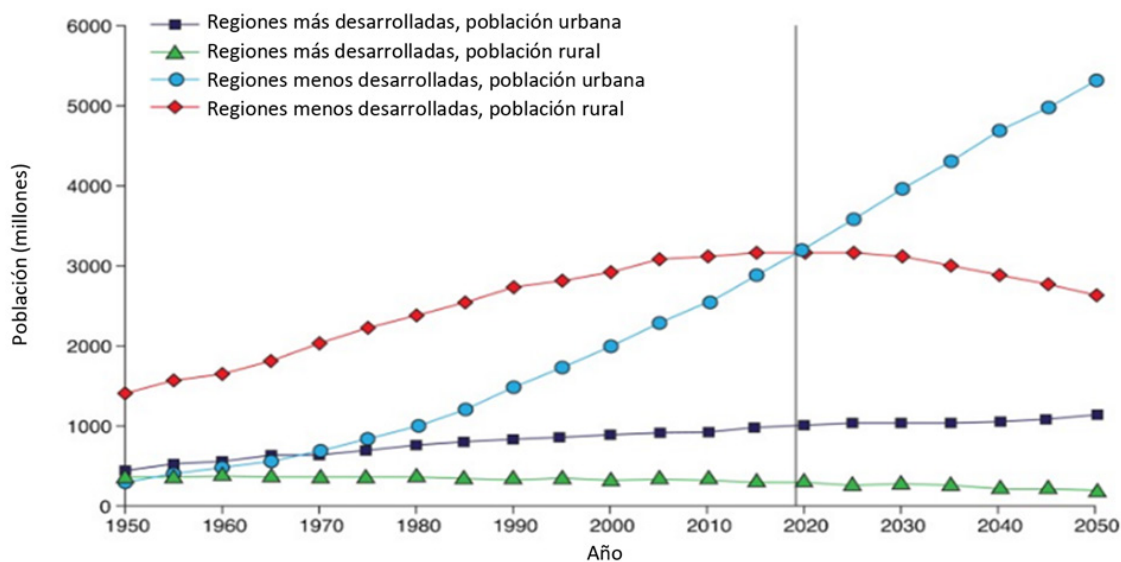
Our World
in Data



Fuente: Plataforma sobre Pobreza y Desigualdad del Banco Mundial.

Nota: Estos datos se miden en dólares de los Estados Unidos (USD) según los precios de 2017. Guardan relación con los ingresos disponibles y los gastos per cápita (las definiciones exactas son variables).

Figura 4: Parte de la población que vive en zonas urbanas



Fuente: Our World in Data, sobre la base del informe "Perspectivas Mundiales de Urbanización" de 2018 de las Naciones Unidas y fuentes históricas. Las zonas urbanas se basan en las definiciones nacionales.

3.2 La infraestructura en las zonas rurales

La inversión en infraestructura desempeña un importante papel en el desarrollo económico: tanto la infraestructura de carreteras como la relacionada con la generación y el suministro de electricidad, otros servicios públicos, las comunicaciones y la banda ancha digital sustentan los esfuerzos en pro del desarrollo sostenible y la transformación económica de las economías emergentes. A fin de fomentar la prosperidad compartida, es fundamental que los beneficios sociales y económicos que reciben los habitantes de zonas urbanas se compartan de forma equitativa con la población rural con miras a reducir la migración desde las zonas rurales hacia las urbanas. Para que todos los ciudadanos, ya vivan en comunidades urbanas, rurales o insulares distantes, puedan acceder a los beneficios del desarrollo económico y la sociedad digital, es fundamental desarrollar una infraestructura urbano-rural interconectada e integrada que reduzca la brecha entre la población urbana de mayores ingresos y las comunidades rurales más pobres.

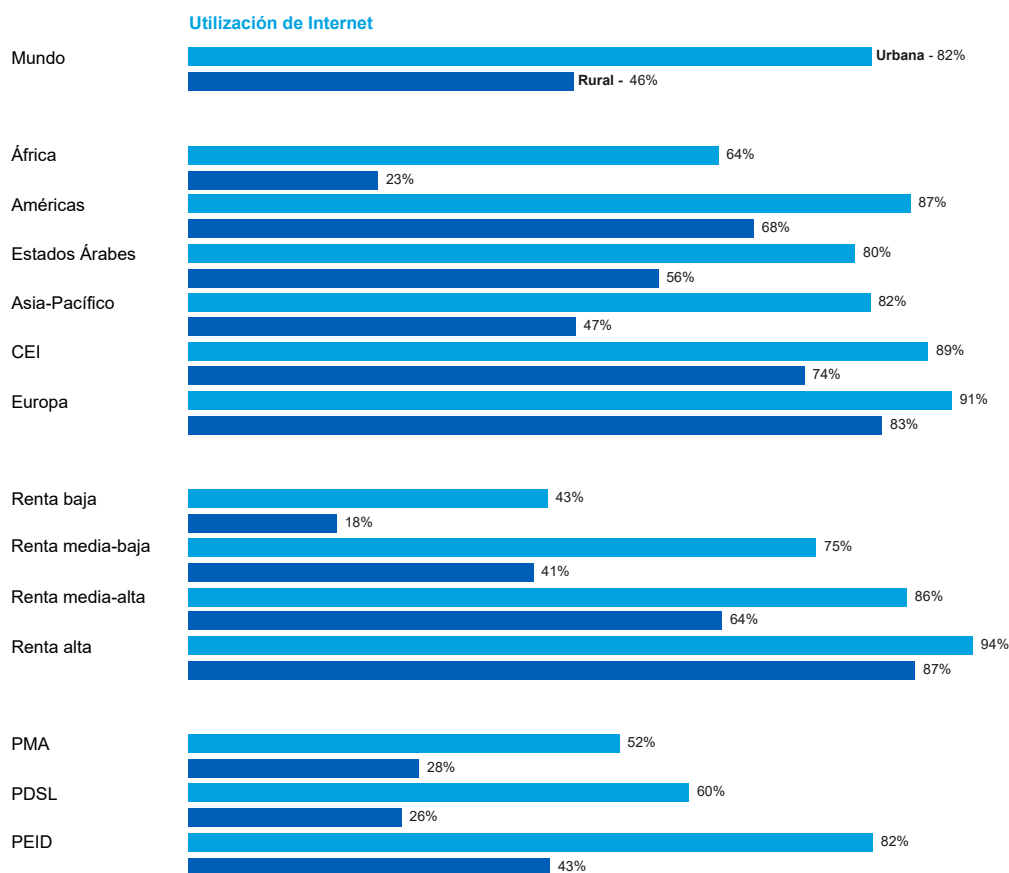
La falta de acceso a la electricidad en las zonas rurales tiene efectos negativos en el desarrollo económico y social, que causan la escasez de oportunidades. El acceso a una infraestructura eléctrica y de banda ancha asequible aportará el poder transformador de la economía digital a las comunidades rurales, distantes e insulares.

Por ejemplo, de los 900 millones de personas que viven en África, 620 carecen actualmente de acceso a la electricidad. Esto se traduce en una pérdida del crecimiento del 2% cada año y en el gasto de miles de millones de dólares en combustibles fósiles para alimentar generadores de energía contaminantes. La necesaria ampliación de las redes eléctricas en África supondría un coste anual de 63 000 millones USD hasta 2030. Sin embargo, el gasto anual es de tan solo 8 000 millones USD. Si no se aplican progresivamente soluciones de energía innovadoras, África tendrá dentro de poco 300 000 torres alimentadas por diésel.

3.3 La brecha entre las zonas urbanas y las zonas rurales respecto del acceso a Internet – la población no conectada en los países en desarrollo

En 2022, dos tercios de la población mundial tenían acceso a Internet, lo que les permitía participar en la economía digital mundial y beneficiarse de las oportunidades que ofrecía el ecosistema digital en materia de cambio social y económico. Sin embargo, un tercio de la población mundial carecía aún de Internet y seguía privada de las ventajas de la era digital.

Figura 5: Porcentaje de personas que utilizan Internet en las zonas urbanas y rurales, 2022



El acceso a los servicios digitales de banda ancha en las comunidades insuficientemente atendidas mitigará algunos de los inconvenientes económicos y sociales que experimentan las comunidades no conectadas. Las empresas rurales y familiares prosperarán: podrán acceder a una amplia gama de servicios y prestar dichos servicios de manera más efectiva y eficaz, lo cual les dará mayores herramientas para competir en un mercado más extenso.

La ampliación de la cobertura de red móvil en todo el mundo ha dado lugar a un auge de los servicios de datos de Internet, impulsado por la disponibilidad de dispositivos asequibles, planes de datos más baratos, y a un aumento de la utilización de Internet por una creciente clase media que puede utilizar y pagar los servicios ofrecidos⁸. El cierre de la brecha digital entre las zonas urbanas y rurales conectando a quienes carecen de conexión es una prioridad de la Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible.

⁸ McKinsey & Company, *Offline and falling behind: Barriers to Internet adoption*, 2014.

3.4 Lograr la conectividad universal

La Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible prevé que la adopción plena de Internet tardará más de dos décadas. Durante dicho periodo, se desarrollará a gran escala la "Internet de las cosas", que será la precursora de lo que Klaus Schwab describió como la cuarta revolución industrial, en la que tecnologías nuevas y diversas fusionarán los mundos físico, digital y biológico, lo cual incidirá en todas las disciplinas, economías y sectores⁹. Estos avances dependerán en gran medida de la expansión de la red de Internet para garantizar el acceso universal.

La banda ancha se ha convertido en la piedra angular de la infraestructura inteligente y los gobiernos nacionales están definiendo objetivos para lograr el acceso universal a los servicios de banda ancha.

3.5 Infraestructura de banda ancha en zonas rurales

Se necesitan estrategias y políticas eficaces para reducir las disparidades de utilización en las regiones en desarrollo de todo el mundo, en particular las zonas rurales. Las soluciones exitosas pueden reproducirse y ampliarse para mejorar la conectividad de grandes poblaciones no conectadas con costes mínimos.

Las mayores dificultades que plantea la prestación de servicios de telecomunicaciones en zonas rurales guardan relación con aspectos tecnológicos y económicos. Las principales tecnologías de transmisión para los servicios de Internet de banda ancha son los sistemas de fibra óptica; las redes de cobre DSL (xDSL)/cable coaxial; las redes celulares terrenales de banda ancha móvil; los sistemas terrenales de microondas – redes de acceso inalámbrico fijo y redes de satélites. Cada una de estas tecnologías tiene determinadas ventajas e inconvenientes que, junto con el entorno reglamentario, los objetivos comerciales y el sistema de financiación, influyen en la decisión sobre los lugares más idóneos para su despliegue.

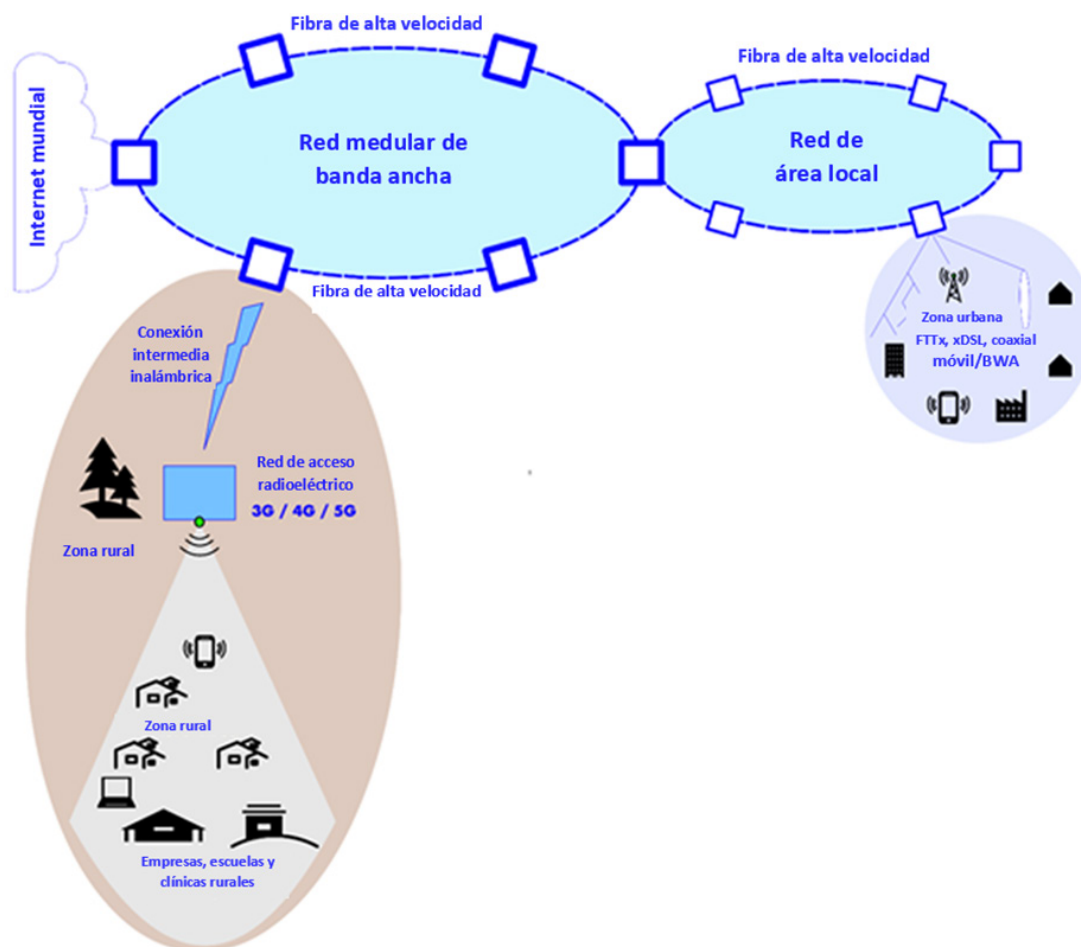
En las zonas urbanas, las soluciones de infraestructura cableada como la fibra óptica, el cable coaxial y la DSL de cobre son las tecnologías de banda ancha que más se eligen para prestar servicios de Internet a los hogares y locales comerciales.

En las zonas rurales, las tecnologías inalámbricas como las redes móviles celulares, las redes de acceso inalámbrico fijo y las tecnologías por satélite son con frecuencia más rentables y permiten desplegar con mayor rapidez servicios de acceso de banda ancha más asequibles¹⁰. Las soluciones de conectividad intermedia, que utilizan las tecnologías radioeléctricas de microondas y ondas milimétricas, son tecnologías más rentables y eficaces para conectar a las comunidades rurales y distantes a la red troncal (véase la Figura 6). Los enlaces intermedios conectan varios nodos de acceso dispersados geográficamente, acumulando el tráfico urbano o rural local hasta la red central.

⁹ <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab>.

¹⁰ Página web del UIT-D sobre las iniciativas rurales: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/RuralCommunications.aspx>.

Figura 6: Disposición de la red de telecomunicaciones



Aunque la tecnología de fibra óptica proporcione la mayor capacidad en largas distancias, los altos costos de instalación (excavación, planificación y permisos, etc.) y los largos plazos que requiere la hace inviable como solución de infraestructura rural asequible. Sin embargo, la tecnología de fibra óptica puede utilizarse para hacer llegar la infraestructura de banda ancha compartida, con capacidades muy altas, desde la red troncal (cubriendo distancias importantes) hasta los centros regionales y los puntos de agregación del país. A menudo, se utiliza para que las redes intermedias se conecten a diferentes segmentos troncales, municipios y zonas regionales.

3.5.1 Redes de acceso inalámbrico

Algunas de las ventajas de utilizar tecnologías de acceso inalámbrico fijo y móviles en zonas rurales son:

- la rapidez de la comercialización: su despliegue es menos complejo y costoso que el de las alámbricas y los abonados pueden acceder a la red con mayor rapidez que con la tecnología de fibra, y las redes inalámbricas pueden lograr rápidamente la rentabilidad;
- la facilidad del despliegue: el acceso inalámbrico es adecuado para las zonas poco pobladas o distantes, así como los entornos urbanos y suburbanos, y puede utilizarse en diversos escenarios de despliegue;
- la disponibilidad sin preparativos: los terminales de acceso inalámbrico fijo son fáciles de instalar;

- el bajo costo: las torres celulares actuales pueden adaptarse para ofrecer tanto un acceso inalámbrico fijo como antenas móviles.

Cuadro 1: Comparación de velocidades habituales del servicio de banda ancha fija

Tecnología	Velocidad máxima	Velocidad media de usuario
VDSL2	200 Mbit/s	30 Mbit/s
LTE FWA	600 Mbit/s	50 Mbit/s
Fibra (FTTH)	1 Gbit/s	100 Mbit/s

Fuente: Ovum

3.5.2 Cobertura móvil celular

La banda ancha móvil (3G o superior) es la principal forma –y a menudo la única– de conectarse a Internet en la mayoría de los países en desarrollo. Actualmente, el 95% de la población mundial tiene cobertura de red 3G o de una red superior.

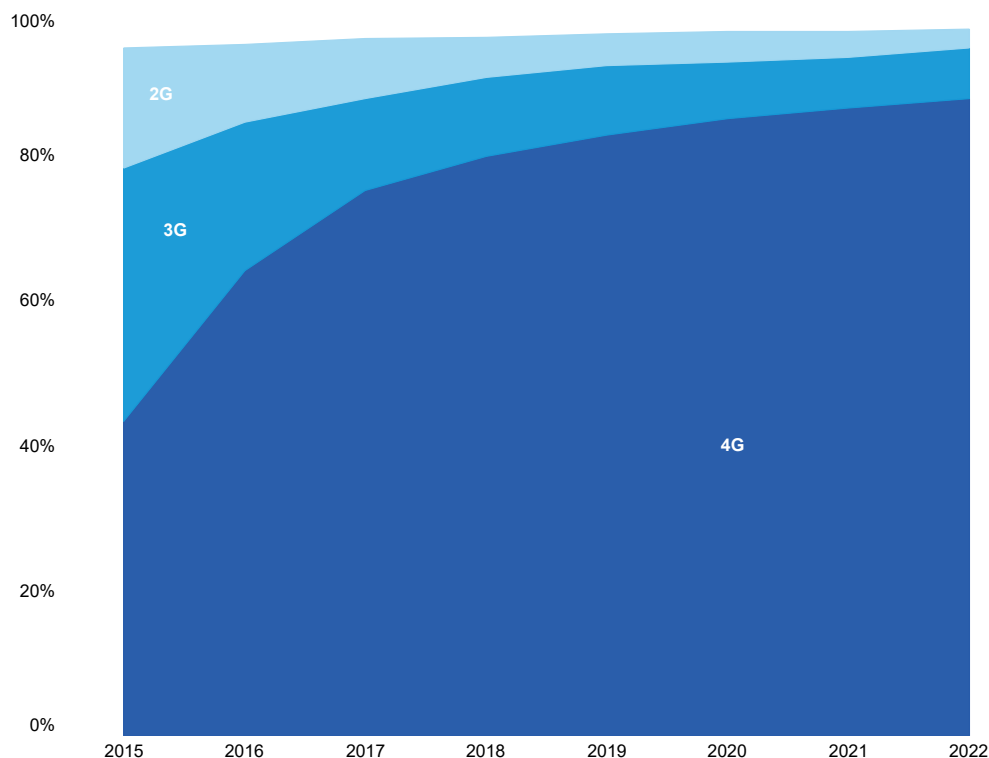
Entre 2015 y 2022, la cobertura de la red 4G se duplicó para llegar al 88% de la población mundial (véase la Figura 7). A nivel regional, la tecnología 4G está actualmente a disposición de más del 90% de la población en América, Asia-Pacífico, la CEI y Europa. En los Estados Árabes, la falta de acceso a la red 4G afecta a la cuarta parte de la población, mientras que ese mismo problema afecta a la mitad de la población en África.

En muchos países de Europa y la Región de Asia-Pacífico, las redes de generación anterior están siendo sustituidas por redes que permiten desarrollar un ecosistema digital compatible con la 5G. Este es en particular el caso de la 3G, que a menudo se desactiva, mientras que se mantiene la 2G para los dispositivos heredados antiguos.

La cuestión es menos evidente en otras regiones del mundo, principalmente porque las redes 2G y 3G siguen estando muy presentes.

Casi todas las zonas urbanas del mundo tienen cobertura por una red de banda ancha móvil. Sin embargo, sigue habiendo muchas deficiencias en las zonas rurales. En América, por ejemplo, el 22% de la población rural carece de cobertura alguna por señal móvil y, además, el 5% solo tiene acceso a la red 2G, lo que significa que el 27% de los habitantes no pueden acceder a Internet. En África, esas cifras son del 15% (parte de la población sin cobertura alguna) y el 14% (acceso a la 2G únicamente).

Figura 7: Cobertura móvil de la población, desglosada por red, 2015-2022



Fuente: UIT, *Measuring digital development: Facts and Figures 2022*.

3.5.3 Infraestructura de acceso de banda ancha en zonas rurales

Las zonas rurales y distantes poco pobladas carecen de acceso a redes de banda ancha asequibles. El alto costo que supone la extensión de la infraestructura de alta velocidad, la baja rentabilidad de la inversión y la falta de acceso a la red son importantes obstáculos al desarrollo de una infraestructura rural de banda ancha.

El desafío que plantea la introducción de servicios de Internet de banda ancha en las zonas rurales sin acceso a la red puede entenderse mejor si se observa la arquitectura de las redes de acceso de banda ancha que prestan servicios a esas zonas.

La utilización de infraestructuras inalámbricas de alta velocidad e infraestructuras alámbricas (de cables de cobre y fibra) está muy extendida en los grandes centros urbanos para la prestación de servicios de banda ancha a las empresas y clientes residenciales, mientras que las redes móviles prestan fácilmente servicios de banda ancha a los clientes particulares tanto en las zonas urbanas como rurales.

3.5.4 Redes móviles celulares

En los países en desarrollo, la mayoría de las personas se conectan a Internet mediante las redes móviles celulares; los operadores adquieren licencias de utilización del espectro móvil, utilizan redes de estaciones de base/torres celulares, y venden principalmente servicios de voz y datos de tiempo de transmisión prepagados.

En las zonas rurales poco pobladas, las redes móviles celulares son las que más se utilizan para el acceso de banda ancha, que operan en un espectro de banda ancha bien definido que utiliza la 3G, la 4G LTE y, en pocos casos, las tecnologías 5G emergentes (véase la Figura 8).

Cuadro 2: Evolución de las redes móviles

	1G	2G	3G	4G	5G
Fecha aproximada de implantación	Década de 1980	Década de 1990	Década de 2000	Década de 2010	Década de 2020
Velocidad de descarga teórica	2 kbit/s	384 kbit/s	56 Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Latencia	No se aplica	629 ms	212 ms	60-98 ms	<1 ms

Fuente: UIT, Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos, 2018.

Desde un punto de vista comercial, la ampliación de la cobertura de banda ancha en las zonas rurales es difícil debido a los importantes gastos de capital (CAPEX) gastos de explotación (OPEX) relacionados con la implementación y explotación de las estaciones de base en funcionamiento, incluido el suministro de electricidad, en zonas distantes que carecen o tienen un acceso inestable a la red eléctrica. Los proveedores de banda ancha deben generar su propia energía a nivel local para explotar las estaciones repetidoras y las subestaciones distantes¹¹.

En un informe de 2016 de la Asociación GSM (GSMA) se estimó que, en comparación con los emplazamientos celulares urbanos, los emplazamientos de estaciones de base celulares/torres celulares podrían costar hasta un 30% más en términos de CAPEX y hasta un 100% más en términos de OPEX (debido al costo de la energía y de las redes intermedias), mientras que darían servicio a un 80% de usuarios menos por emplazamiento, y por lo tanto, generarían menos ingresos¹².

Las tecnologías de acceso inalámbrico fijo (FWA) también se utilizan para ofrecer una mayor calidad de servicio, sobre la base de normas internacionales como Wi-Fi, WiMAX/IEEE y otras tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha fija patentadas. En los países en desarrollo, las tecnologías radioeléctricas de microondas y ondas milimétricas de gran capacidad se suelen proporcionar como enlaces intermedios, que conectan a las comunidades rurales con la red troncal. Las soluciones basadas en satélites se utilizan con cada vez más frecuencia para proporcionar acceso de banda ancha en comunidades más distantes y aisladas.

El desarrollo de soluciones de acceso inalámbrico de gran capacidad que sean más eficientes desde el punto de vista de la energía y el espectro, y que se alimenten con energías renovables, acelerará el despliegue de servicios de banda ancha asequibles en zonas rurales y distantes.

¹¹ Broadband Situations in Rural and Remote Areas, https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/RuralCommunications/Broadband_Situations_in_Rural_and_Remote_Areas_Full.pdf.

¹² GSMA. Unlocking Rural Coverage: Enablers for commercially sustainable mobile network expansion. <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/resources/unlocking-rural-coverage-enablers-commercially-sustainable-mobile-network-expansion/>, julio de 2016.

Figura 8: Arquitectura de red móvil



Fuente: Adaptación de la UIT.

Recuadro 1: Anatomía de una red móvil

En general, las redes de telefonía móvil e Internet tienen partes troncales, intermedias y de último tramo.

Las redes troncales (incluida la red troncal nacional y la conectividad internacional) abarcan la infraestructura de fibra óptica de gran capacidad que entrega el tráfico desde y hacia los puntos de agregación (por ejemplo, los puntos de intercambio de tráfico de Internet (IXP)), los puntos de conexión por pares entre los proveedores de servicios del primer nivel y las estaciones de aterraje de cables submarinos para la conectividad internacional.

La tecnología intermedia (o de tramo intermedio) se refiere a la infraestructura que lleva el tráfico de voz y datos desde la red troncal de un operador hasta un emplazamiento de agregación, como una estación de base. A menudo, la tecnología intermedia es el obstáculo principal para ofrecer cobertura, en particular en las zonas poco pobladas o con características topográficas difíciles, como las zonas insulares o rurales.

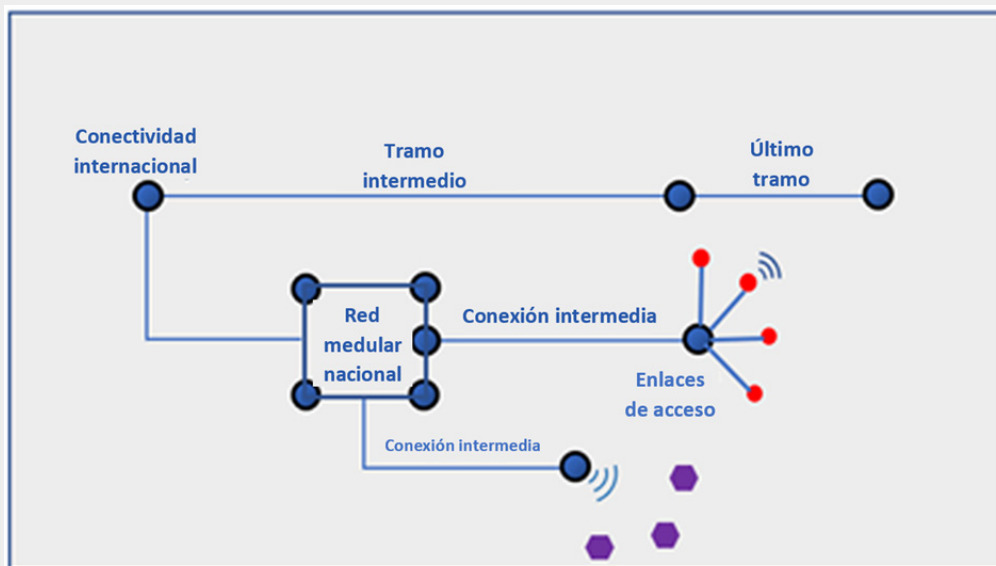
La fibra es la tecnología intermedia más habitual, que ofrece la mayor capacidad y la mejor calidad de servicio. Sin embargo, su implementación en zonas rurales o con características topográficas difíciles supone a menudo un costo prohibitivo, debido a los gastos relacionados con la obtención de derechos de paso y permisos de construcción.

La tecnología de microondas se utiliza con frecuencia en zonas en las que la fibra supone un costo demasiado alto o es inviable. No obstante, requiere una visibilidad directa entre transmisores, por lo que también puede acarrear un costo prohibitivo en zonas muy distantes.

La tecnología intermedia por satélites permite superar los obstáculos de las zonas rurales relacionados con la distancia y la topografía, pero supone altos costos de explotación y a menudo ofrece un servicio de calidad inferior al de la fibra tradicional.

Recuadro 1: Anatomía de una red móvil (continuación)

Infraestructura de red



3.5.5 Futuras redes 5G – servicios innovadores

La red de tecnologías de quinta generación (5G) está evolucionando a modo de una plataforma para prestar servicios de comunicación avanzados que permitan a los gobiernos y encargados de formular políticas transformar su infraestructura nacional con el fin de ofrecer servicios digitales mejorados que apoyen y empoderen a los ciudadanos, las comunidades y las empresas.

La 5G ofrecerá una mejor experiencia del usuario final, una mayor calidad de servicio, una menor latencia y una mayor fiabilidad; en última instancia, se prevé que las redes 5G ofrezcan velocidades de gigabits. La demanda de estos servicios será mayor en las zonas urbanas muy pobladas. Dado que la prestación de estos servicios mejorados en las zonas rurales no será viable desde el punto de vista económico, tal vez sea más adecuado prestar un servicio 5G de menor capacidad en dichas zonas.

La adopción de la 5G, mediante redes terrenales o de satélites, facilitará el despliegue de una nueva gama de servicios innovadores, en particular la Internet de las cosas a gran escala y aplicaciones como la fabricación a distancia, que requiere en control de los procesos dependientes del tiempo mediante la automatización, la robótica, que abarca la ciberseguridad y la medicación inteligente, el transporte automatizado con dispositivos de navegación y control de vehículos, la supervisión de la red eléctrica inteligente y experiencias inmersivas en el contexto de la realidad virtual, en particular en la esfera de la educación y la telemedicina.

Las redes 5G podrían facilitar la ampliación de los servicios de banda ancha en las zonas rurales y distantes mediante el uso del espectro de frecuencias por debajo de 1 GHz (en las bandas

de frecuencias de ondas métricas 450-800 MHz) y permitirán a los proveedores de servicios cubrir zonas más extensas a un coste inferior¹³.

Los sistemas radioeléctricos 5G se están diseñando para lograr una eficiencia energética mayor que con la 3G y la 4G, de manera que se puedan alimentar con sistemas de energía renovable de pequeña escala. Las características de propagación del espectro de ondas decimétricas permite que los enlaces funcionen en distancias más grandes y que haya una mejor penetración de los obstáculos geofísicos respecto de los sistemas actuales situados en las bandas frecuencias 3-6 GHz y superiores y en las bandas de ondas milimétricas. Por consiguiente, las estaciones de base 5G pueden ubicarse más cerca de las fuentes de energía renovables y ofrecer mayor cobertura para llegar a las comunidades distantes de manera más eficaz y a un costo menor. El espectro de banda media es necesario para respaldar el funcionamiento eficaz de las redes móviles 5G. La mayor parte de ese espectro se utiliza actualmente para la 2G y la 3G, lo que conduce a las empresas de telecomunicaciones a analizar la posibilidad de realizar una redistribución a fin de liberar espectro para los servicios 4G y 5G (por ejemplo, en 1 800 MHz, 2,1 GHz, 2,3 GHz y 2,6 GHz). No obstante, la disponibilidad del espectro está aumentando a nivel mundial, en las bandas 3 300-4 200 MHz y 4 400 MHz utilizadas para los servicios móviles, y se pueden integrar servicios por satélite para aumentar la capacidad del servicio 5G a fin de hacer frente a algunos de los principales retos de la prestación de servicios multimedia, la cobertura ubicua, la comunicación entre máquinas y las misiones críticas de telecomunicaciones en todo el país.

Recuadro 2: Huawei – Enfoque multiniveles del espectro

- Nivel de cobertura: explota el espectro por debajo de 2 GHz (por ejemplo, 700 MHz) proporcionando cobertura a zonas extensas y en lo más recóndito de entornos interiores.
- Nivel de capacidad y cobertura: se basa en el espectro correspondiente a la gama entre 2 y 6 GHz para ofrecer el mejor equilibrio entre capacidad y cobertura.
- Nivel de súper datos: se basa en el espectro por encima de 6 GHz y las bandas de ondas milimétricas para abordar casos de uso específicos que requieren velocidades de datos extremadamente altas.

Fuente: <https://www.huawei.com/en/public-policy/5g-spectrum>.

Mejora de la eficiencia energética con la 5G mediante la agregación de portadoras

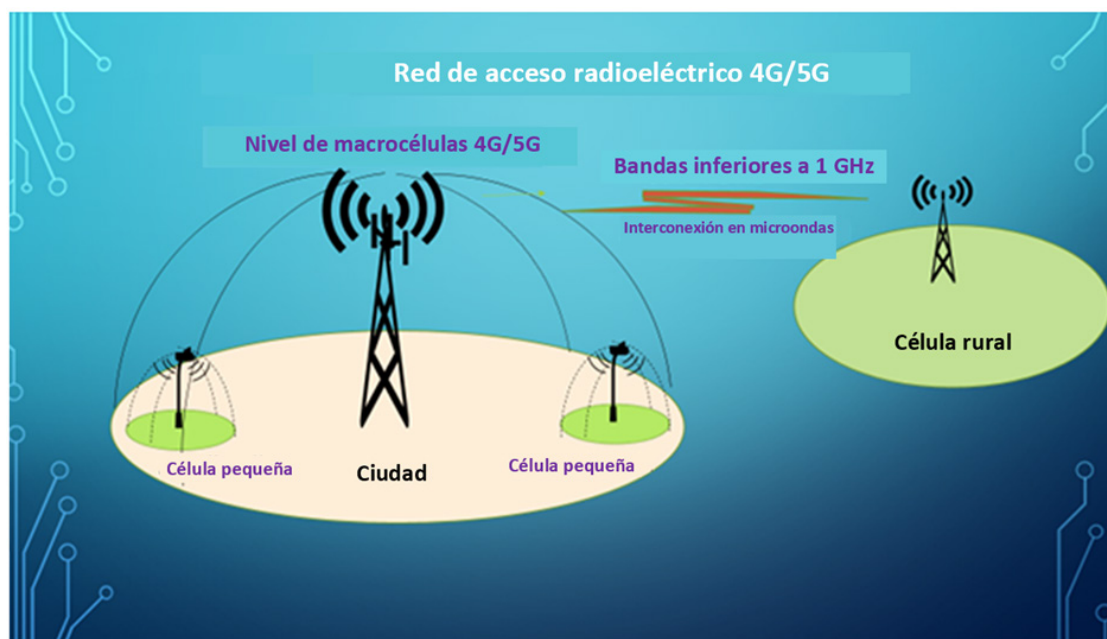
La disponibilidad del espectro para las IMT (telecomunicaciones móviles internacionales) en las gamas 3 300-4 200 MHz y 4 400-5 000 MHz está aumentando en todo el mundo. La banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz se atribuye al servicio móvil a título coprimario en casi todos los países.

Las bandas inferiores a 6 GHz son fundamentales para dar soporte a la mayoría de los escenarios de uso de la 5G en una zona geográfica amplia. Las gamas de frecuencias 3 300-4 200 MHz y 4 400-5 000 MHz son adecuadas para ofrecer el mejor equilibrio entre cobertura y buena capacidad.

¹³ McGuire y otros. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012, 2012:112 <http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2012/1/112>.

El acceso dinámico al espectro (DSA) utiliza una base de datos para identificar el espectro no utilizado en cualquier momento y lugar por el titular de licencia tradicional, con miras a ponerla a disposición de otros usuarios sin causar interferencias a los servicios existentes. El DSA puede ofrecer un acceso oportunista al espectro a usuarios existentes y nuevos poniendo a disposición el espectro 5G no utilizado, cuando proceda, y dando prioridad al titular de licencia principal. A veces, las técnicas de DSA se utilizan en las bandas en ondas decimétricas de los espacios en blanco de televisión.

Conclusiones principales: Los encargados de formular políticas tal vez consideren la posibilidad de poner a disposición diferentes partes de las gamas 3 300-4 200 MHz y 4 400-5 000 MHz para construir bloques grandes y contiguos y poner también a disposición el espectro en la banda 700/800 MHz para garantizar la provisión de banda ancha móvil en zonas rurales.



3.5.6 Las tecnologías por satélite en órbita terrestre baja - zonas rurales insuficientemente atendidas

Una nueva generación de tecnologías por satélite en órbita terrestre baja (LEO) podría revolucionar la ampliación de la banda ancha en las zonas rurales insuficientemente atendidas.

Los satélites de comunicación se ubican a menudo en órbitas geoestacionarias y geosincrónicas, a una altitud de unos 36 000 km por encima del Ecuador, a fin de describir una órbita alrededor de la Tierra en 24 horas en una posición estacionaria. Sin embargo, el diseño, la construcción, los ensayos, el lanzamiento y el despliegue de estos satélites son muy costosos. Además, el tiempo de transmisión de ida y vuelta Tierra-satélite-Tierra de las señales emitidas por estos satélites es superior a medio segundo.

Los satélites de la gama LEO son más pequeños, orbitan con mayor rapidez y combinan capacidades más potentes con costes de lanzamiento y explotación más bajos. Estos satélites ofrecen periodos de latencia de Internet de en torno a 35 milisegundos, equiparables a muchos sistemas por cable y DSL que prestan servicio a particulares, pequeñas empresas y comunidades rurales.

Varias empresas están creando y previendo lanzar satélites LEO en el periodo 2020-2030. SpaceX ha comenzado a lanzar su nueva constelación de satélites Starlink. El proyecto Starlink consiste en incluir en torno a 12 000 satélites en funcionamiento a una altitud de aproximadamente 1 000 km, con un radio de cobertura de unos 1 000 km, lo que requiere una amplia red de satélites.

3.5.7 Sistemas de plataformas a gran altitud

Las estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS), que están rellenas de helio y funcionan en la estratosfera a una altitud de aproximadamente 20 km, y los sistemas de satélites (incluidas las constelaciones no geoestacionarias) pueden ofrecer velocidades de datos muy altas (de 100 Mbit/s a 1 Gbit/s o más) para completar las redes intermedias inalámbricas fijas o terrenas fuera de las grandes zonas urbanas y suburbanas. Las HAPS y los sistemas de satélites pueden transmitir contenido de vídeo a sistemas fijos terrenales situados en emplazamientos rurales y muy distantes, como las islas. Pueden integrarse en otras redes, como las soluciones de acceso inalámbrico fijo y las soluciones móviles, aumentando con ello las capacidades del servicio 5G, a fin de hacer mejor frente a los grandes desafíos relacionados con el crecimiento del tráfico multimedia, la cobertura ubicua, la Internet de las cosas, la comunicación entre máquinas y las misiones críticas de telecomunicaciones¹⁴.

Las frecuencias por debajo de 1 GHz serán más adecuadas para las aplicaciones de HAPS de bajo ancho de banda y larga distancia, a fin de ofrecer amplia cobertura en zonas rurales, en particular en los países en desarrollo, con inclusión de África, con miras a mejorar la cobertura 4G y 5G. En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2023 (CMR-23) se ha de examinar este enfoque y estudiar la posibilidad de utilizar las estaciones de plataformas a gran altitud como las estaciones de base IMT en el servicio móvil en ciertas bandas de frecuencias por debajo de 2,7 GHz ya identificadas para las IMT.

Conclusiones principales: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de poner a disposición espectro de baja frecuencia (por ejemplo, en la banda de 700 MHz) para garantizar el acceso de banda ancha móvil en las zonas rurales.

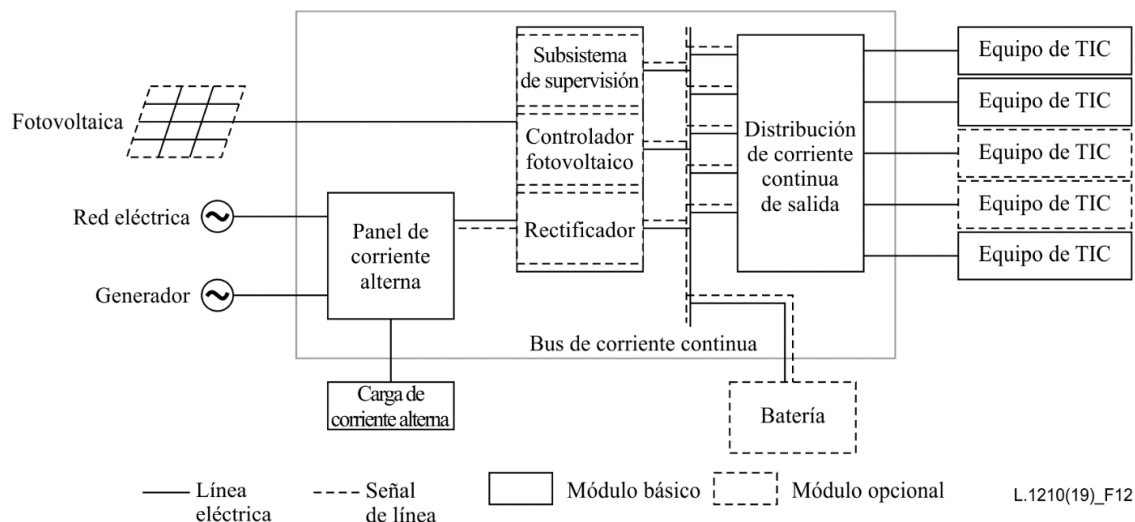
Cabe esperar que el espectro de 3,3-3,8 GHz pueda ser la base de una gama de servicios iniciales de 5G.

3.5.8 Solución de energía renovable para las estaciones de base 5G

Esta solución implica conectar diferentes fuentes de energía como la red, la energía renovable y los generadores a las entradas de los paneles de energía de las estaciones de base. A fin de maximizar la utilización de la energía renovable, el sistema aplica la tecnología inteligente para utilizar preferentemente la energía renovable, y en caso contrario selecciona la red, un sistema de almacenamiento por batería o un generador basado en el coste operacional en diferentes situaciones. A continuación se indica un ejemplo de la estructura básica del sistema.

¹⁴ UIT, *Sistemas de estaciones en plataformas a gran altitud*, <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx>.

Figura 9: Sistema de múltiples entradas de fuentes de energía para una estación de base 5G, con inclusión de energía renovable



Cuando la capacidad de la red es insuficiente debido a las crecientes necesidades de potencia de la estación de base 5G, las energías renovables de las células solares fotovoltaicas, las turbinas eólicas y las pilas de combustible podrían ser una muy buena elección para aumentar la capacidad de potencia disponible, a fin de garantizar que todo el sistema siga funcionando de forma fluida y sin interrupción. Esto se describe en la Recomendación UIT-T L.1210 sobre las soluciones de alimentación eléctrica sostenibles para las redes 5G.

4 Falta de acceso a la electricidad

4.1 Desafíos energéticos que limitan la expansión de la banda ancha

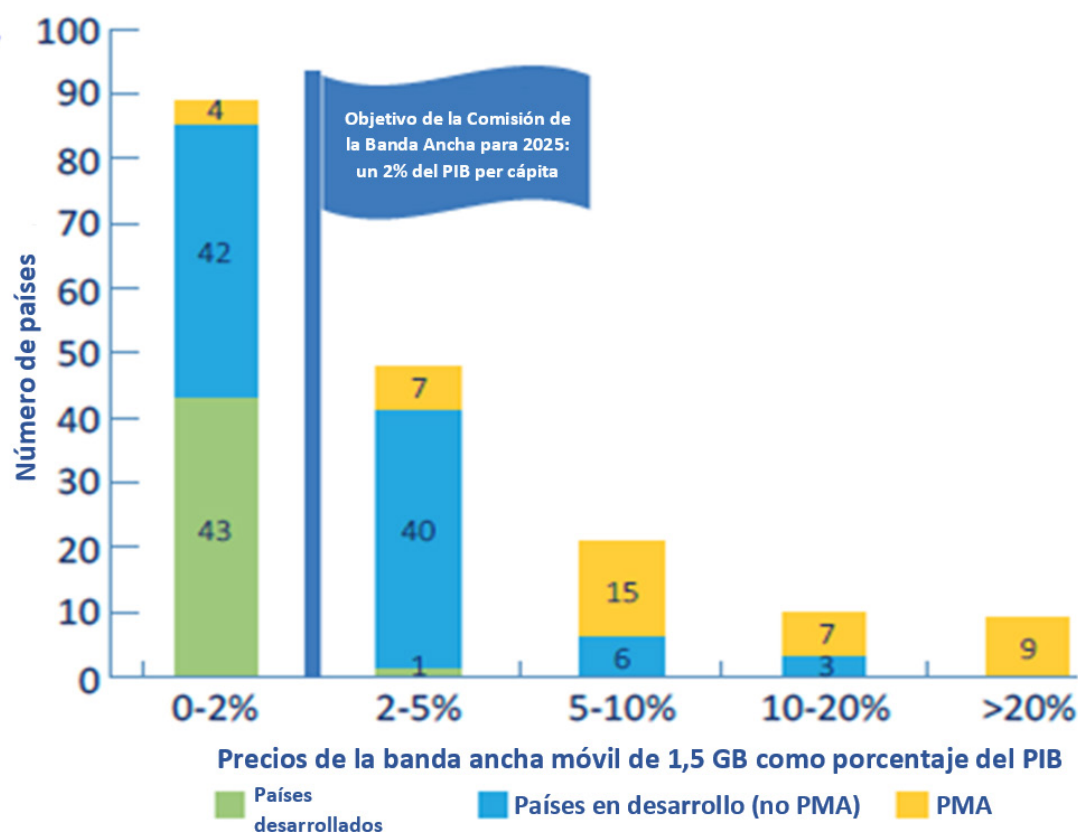
El acceso a la electricidad de forma segura y asequible es un prerrequisito para desarrollar la infraestructura de acceso de banda ancha en las zonas rurales. Sin él, no se pueden materializar completamente los beneficios sociales y económicos que conducirán a la prosperidad compartida y transformarán las vidas de las familias de renta baja de las comunidades rurales.

El ecosistema de TIC mundial consume una importante cantidad de energía, que se estima en aproximadamente el 10% de toda la electricidad generada a nivel mundial cada año, para alimentar la nube de centros de datos, la infraestructura de banda ancha de Internet, las redes informáticas/software y los dispositivos de usuario final. Si no se puede acceder de manera asequible a la red eléctrica, la infraestructura de banda ancha de las zonas rurales debe tener acceso a fuentes autónomas seguras.

La falta de red eléctrica es un importante desafío para los operadores de telecomunicaciones, que deben ofrecer sus propias soluciones eléctricas para ampliar la infraestructura de banda ancha inalámbrica celular o fija en las zonas rurales.

Aunque en los últimos años se han logrado avances considerables, la asequibilidad sigue siendo un importante problema en muchos países en desarrollo, especialmente en los PMA, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10: La banda ancha sigue siendo costosa en los PMA



Para conseguir que los paquetes básicos de datos de banda ancha (1,5 GB) sean asequibles en los países en desarrollo, la Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible define un objetivo para reducir los precios hasta, como máximo, el 2% del producto interior bruto (PIB) mensual per cápita para 2025.

La falta de infraestructura de red en las zonas rurales aumenta el costo de construcción de las redes de Internet de banda ancha para dar servicio a las comunidades distantes, que puede representar una parte importante de la inversión necesaria para establecer y explotar una infraestructura de banda ancha (sistemas intermedios, sistemas de la estación de base móvil o conexiones de acceso inalámbrico fijo de último tramo).

Las soluciones de energía por diésel, cuando se utilizan como fuente de energía primaria en zonas rurales, implican altos costos de capital y operativos. Los operadores obtienen poca rentabilidad, debido al elevado costo del mantenimiento, la seguridad y el combustible de los generadores de diésel en las zonas rurales y a menudo distantes.

Por consiguiente, las soluciones innovadoras de energía para zonas rurales deben integrar medidas para mejorar la disponibilidad y la fiabilidad del suministro eléctrico para los componentes activos de la infraestructura rural de la red de telecomunicaciones, así como para el acceso a los equipos de terminación (por ejemplo, los equipos en las instalaciones del cliente, los dispositivos, las computadoras, los teléfonos y las TV inteligente) para los usuarios finales, los servicios comunitarios y los clientes empresariales locales.

En las comunidades rurales que carecen de electricidad, la población local debe viajar hasta los puntos de recarga de batería más cercanos, que pueden estar situados a una distancia de varios kilómetros, a fin de recargar sus dispositivos portátiles u otros aparatos de TIC que funcionan con batería. Esto da lugar a costos adicionales y una alteración del servicio, lo cual reduce la demanda de servicios de Internet y la adopción de las TIC por los pobres de las zonas rurales. Por lo general, si no se dispone de acceso a la electricidad, los equipos y aplicaciones TIC no se implementarán en los emplazamientos rurales e insulares distantes, con exclusión de los dispositivos portátiles. En determinadas situaciones, las baterías pueden proporcionar energía eléctrica de emergencia a modo temporal.

El primero de los obstáculos anteriormente señalados puede definirse como la "brecha del suministro de banda ancha", es decir, la falta de servicio de banda ancha en una zona en donde viven y trabajan personas. El segundo obstáculo es la "brecha de la demanda de banda ancha", entendida como la parte de la población nacional que podría tener potencialmente acceso a la banda ancha, pero que no adquiere dicho servicio.

La brecha del suministro de banda ancha es particularmente grave en las zonas rurales y distantes, que tienen una densidad de población bastante inferior a la de las zonas urbanas y periurbanas. Los principales retos que supone el despliegue de servicios de banda ancha en las zonas rurales y las comunidades insulares de los países en desarrollo son:

- la geografía y los terrenos distantes y difíciles;
- el acceso inadecuado a infraestructuras fiables, asequibles y seguras, en especial la red eléctrica y las carreteras;
- la falta de cobertura de Internet móvil o de redes de acceso inalámbrico fijo de banda ancha, y la falta de medios para acceder a la banda ancha internacional;
- la falta de instalaciones TIC;

- el número limitado y la ubicación lejana de los emplazamientos para recargar los dispositivos móviles y los equipos TIC de conexión a Internet;
- las pocas soluciones autónomas de energía – suministro irregular por generadores diésel y energías renovables intermitentes.

En los últimos años, los operadores de redes móviles y servicios de banda ancha inalámbrica han sido penalizados por incumplir los objetivos de calidad de funcionamiento acordados con los organismos reguladores debido a la degradación de la calidad de servicio y por incumplir los objetivos de disponibilidad. Lamentablemente, uno de los motivos más frecuentes de los fallos e interrupciones de la red es la falta de un suministro eléctrico seguro; incluso cuando actúan como fuente independiente (y por supuesto, como fuente principal), los conjuntos de generadores diésel son un mal sustituto para acceder a la red nacional.

4.2 Energía sostenible para todos

El mercado de la electricidad está atravesando actualmente un proceso de transformación, ya que las tecnologías de energía renovable empiezan a sustituir a los combustibles fósiles, y las industrias energéticas tradicionales y de banda ancha (anteriormente dominadas por los operadores tradicionales) están siendo alteradas por modelos de negocio innovadores más descentralizados.

Conseguir una energía sostenible para todos es uno de los ODS. Como una de las estrategias para alcanzar este objetivo, la Comisión sobre la Banda Ancha para el Desarrollo Sostenible ha definido una serie de metas, que han de lograrse para 2030, con vistas a:

- garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, seguros y modernos;
- aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas;
- duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética;
- aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias;
- ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los PMA, los PEID y los PDSL, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

El Objetivo 7 de los ODS también exhorta a los Estados Miembros a "garantizar a todo el mundo una energía asequible, segura, sostenible y moderna".

La rápida reducción del costo de tecnologías de energía renovable como la energía solar y la eólica, unida a las medidas para mejorar la eficacia e innovadores mecanismos para prestar servicios energéticos, deberían acelerar las iniciativas estratégicas encaminadas a conseguir los objetivos relacionados con el acceso universal a la electricidad.

La infraestructura representa una parte importante del costo del acceso a la electricidad. En general, las poblaciones urbanas acceden a la electricidad mediante las redes eléctricas nacionales. Sin embargo, en los países en desarrollo, el suministro de electricidad a las zonas rurales y distantes mediante una amplia infraestructura de transmisión y distribución requiere una importante inversión que es prohibitiva para muchas empresas eléctricas tradicionales y genera un rendimiento muy bajo. La generación de electricidad fuera de la red eléctrica utilizando arquitecturas de minirredes y microrredes combinadas con fuentes de energía

renovable menos costosas y más limpias que se encuentran disponibles a nivel local puede ofrecer energía segura y asequible para las instalaciones rurales y distantes¹⁵.

4.3 El déficit energético rural en los países en desarrollo

El acceso inseguro y desigual a la electricidad es uno de los principales obstáculos al aumento de la actividad económica y la ampliación de la infraestructura de banda ancha en las zonas rurales. Es un gran factor disuasorio contra la inversión privada¹⁶.

En 2017, el 14% de la población mundial (en torno a 1 000 millones de personas) seguían sin tener acceso a la electricidad. Esta cifra ha disminuido considerablemente, salvo en África subsahariana (véase la Figura 11). En Asia y África se concentraba el 95% de la población sin acceso a la electricidad y el 84% de ella vivía en zonas rurales (véase la Figura 12).

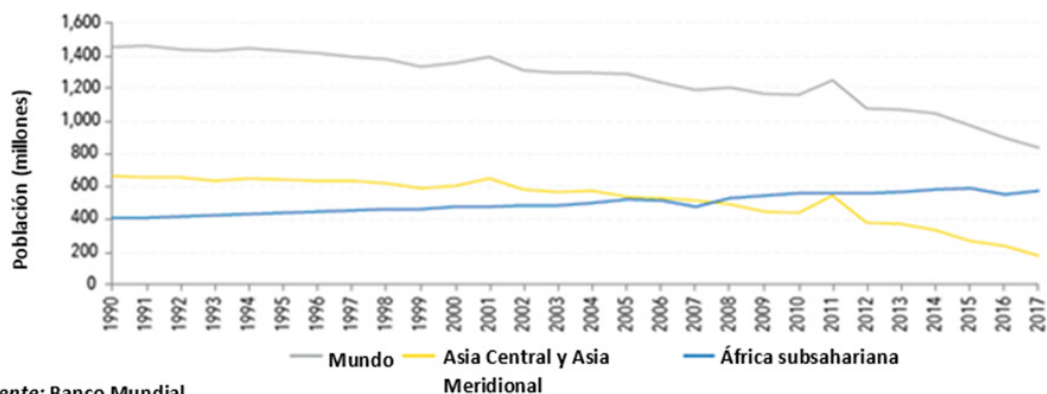
La capacidad de generación de energía eléctrica en el mundo registró un aumento del 4% en 2018, del que el 45% procedió de la energía renovable. En 2017, a nivel mundial, el índice de acceso a la electricidad fue del 79% en las zonas rurales, presentando un retraso significativo respecto del índice del 97% registrado en las zonas urbanas. En las poblaciones rurales insuficientemente atendidas se concentra el 87% del déficit de acceso mundial. En 2017, el 66% de la población rural mundial sin acceso a la electricidad vivía en África subsahariana, como se ilustra en la Figura 11.

¹⁵ Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) – INFORME SOBRE LOS PAÍSES MENOS ADELANTADOS 2017 – El acceso a la energía para la transformación estructural de la economía, https://unctad.org/system/files/official-document/ldcr2017_es.pdf.

¹⁶ *The G-20 Compact with Africa*, Informe conjunto del Banco Africano de Desarrollo, el Fondo Monetario Internacional y el Grupo Banco Mundial, Reunión de los Ministros de Finanzas y los Directores de Bancos Centrales del G-20, 17 y 18 de marzo de 2017, Baden-Baden (Alemania).

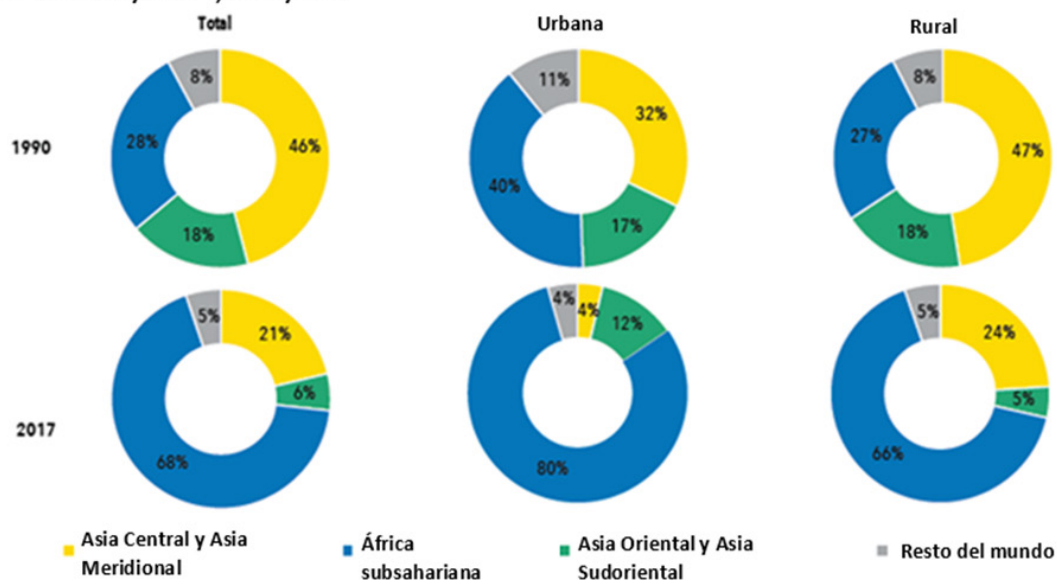
Figura 11: Población rural sin acceso a la electricidad

Evolución del déficit de acceso a la electricidad (millones de personas), 1990-2017



Fuente: Banco Mundial

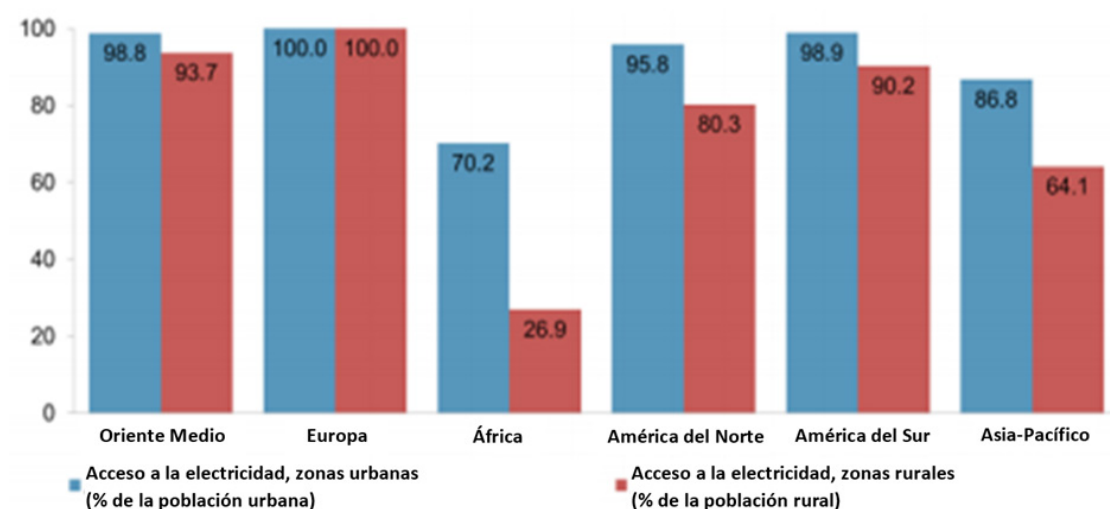
Partes regionales en el déficit de acceso a la electricidad a nivel mundial, en total y con el reparto entre zonas urbanas y rurales, 1990 y 2017



Fuente: Banco Mundial

Nota: Sobre la base de la población sin acceso a la electricidad

Figura 12: Porcentaje de la población con acceso a la electricidad (urbana y rural)



Fuente: Banco Mundial (2017)

Sin energía asequible, es difícil promover el crecimiento económico, superar la pobreza, impartir una educación de gran calidad, impulsar las empresas e industrias locales, aumentar las oportunidades de empleo y apoyar la salud y el desarrollo humanos.

La presencia de infraestructuras inadecuadas, en particular respecto del acceso a la electricidad, limita el despliegue y la asequibilidad de los servicios de banda ancha, y contribuye por tanto al aumento de la desigualdad.

Los avances tecnológicos y la disminución del costo de las tecnologías renovables y digitales han creado oportunidades para dejar atrás un mundo con altas emisiones de carbono y dependiente de los combustibles fósiles a favor de una economía sostenible, con bajas emisiones de carbono. Los estudios de política mundial sugieren que los sistemas eólicos y solares fotovoltaicos proporcionarán más de la mitad de la capacidad adicional de generación de electricidad que estará operativa para 2040.

4.4 La transición hacia una infraestructura de energías renovables

El modelo tradicional de distribución eléctrica basada en la red, que depende de que los proveedores de electricidad tradicionales amplíen sus redes nacionales de transmisión y distribución cubriendo largas distancias hasta las zonas rurales, ha fallado, dado que la mayoría de las poblaciones rurales de las regiones en desarrollo de África y Asia no tienen acceso a la red.

Las energías renovables han permitido a las comunidades abandonar los combustibles fósiles a favor de energías asequibles y limpias, contribuyendo así al impulso mundial para reducir al mínimo las emisiones de gases de efecto invernadero a fin de proteger el medio ambiente. Gracias a la innovación tecnológica, el modelo más seguro para ampliar el suministro de electricidad asequible depende de soluciones energéticas digitalizadas, descentralizadas y que no emitan carbono.

En los diez últimos años el costo de las energías renovables ha disminuido drásticamente. En un estudio realizado en 2019 por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) se concluyó que el precio de la energía solar y eólica renovable había disminuido hasta alcanzar un nivel equiparable o incluso inferior al del carbón y otros combustibles fósiles. Los proveedores de servicios de banda ancha pueden superar desafíos y obstáculos energéticos a la inversión en infraestructuras rurales de banda ancha generando su propia energía limpia a partir de fuentes más baratas, limpias y renovables o colaborando en proyectos comunitarios de desarrollo energético. También se está creando una industria en torno a la oferta de soluciones de almacenamiento, que son fundamentales para promover la penetración de las energías renovables. Además, la innovación en TI también desempeña una función clave en la optimización de la producción y el consumo de electricidad.

4.5 La mejora de la eficiencia energética - la optimización del consumo

"Los aparatos eficientes desde el punto de vista energético ayudarán a reducir los costos de inversión en energía que se necesitan para estimular los programas de acceso a la electricidad. Si se reduce la potencia en un único vatio de la carga de un aparato autónomo, disminuirían los costos iniciales de los sistemas solares, mejoraría el servicio o se darían ambas cosas" (Van Buskirk, 2015). De manera análoga, la eficiencia energética puede aumentar la asequibilidad de las instalaciones autónomas más grandes alimentadas por energía solar.

En el análisis realizado por Van Buskirk en 2015 se indicó que "el costo inicial de un sistema autónomo tradicional de energía puede reducirse hasta un 50% si se utilizan aparatos de muy alta eficacia y baterías y paneles solares fotovoltaicos del tamaño adecuado, al tiempo que se ofrece un servicio energético equivalente o superior". Se pueden lograr eficiencias rediseñando los equipos radioeléctricos de las estaciones de base (el módulo de procesamiento de señales digitales, los amplificadores de potencia de los transceptores, las radiofrecuencias y los cables de conexión). La optimización del consumo de energía de los sistemas de las estaciones transceptoras de base y de los procesadores de señales digitales se está consiguiendo utilizando arquitecturas de circuitos integrados como ASIC, FPGA o DSP, que se combinan para obtener una mejor eficiencia¹⁷.

El consumo de energía puede optimizarse también del siguiente modo:

- apagando sistemas en determinados momentos para ajustarse a la carga¹⁸;
- gestionando dinámicamente los recursos de red;
- compartiendo los recursos de la estación de base móvil, el transceptor inalámbrico y la estación repetidora entre diferentes operadores.

Asimismo, la ampliación del intervalo de temperaturas de explotación eliminará o reducirá las necesidades de potencia para el aire acondicionado. Esto da lugar a una importante disminución de la demanda y los costos de energía en los emplazamientos distantes.

¹⁷ S. Zoican, "The Role of Programmable Digital Signal Processors (DSP) for 3G Mobile Communication Systems", Acta Technica Napocensis, vol. 49, págs. 49 a 56, 2008.

¹⁸ L. M. Correia, D. Zeller, O. Blume y otros, "Challenges and Enabling Technologies for Energy Aware Mobile Radio Network" *IEEE Communications Magazine*, vol. 48, N° 11, págs. 66 a 72, 2010. Consúltense en [Sitio del editor](#) | [Google Scholar](#).

5 Las fuentes de energía renovable para la electrificación rural

Las soluciones de energía renovable son actualmente las fuentes de generación de nueva energía de menor costo en todas las regiones del mundo. En los últimos diez años, el costo de la electricidad generada por la energía solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa ha disminuido considerablemente hasta tal punto que se ha equiparado con la franja de precios correspondiente a la generación de energía a partir de combustibles fósiles¹⁹.

5.1 Las energías renovables son más competitivas que las fuentes de combustibles fósiles

El costo de la electricidad generada por recientes e importantes proyectos de energía solar fotovoltaica ha caído por debajo del precio de la electricidad generada a partir de plantas generadoras alimentadas por combustibles fósiles (IRENA, 2018). La disminución de los costos de la energía eólica en tierra y la energía solar concentrada también han dado lugar al aumento de la competitividad de otras fuentes de energía renovable en comparación con la generación de electricidad a partir del carbón u otros combustibles fósiles.

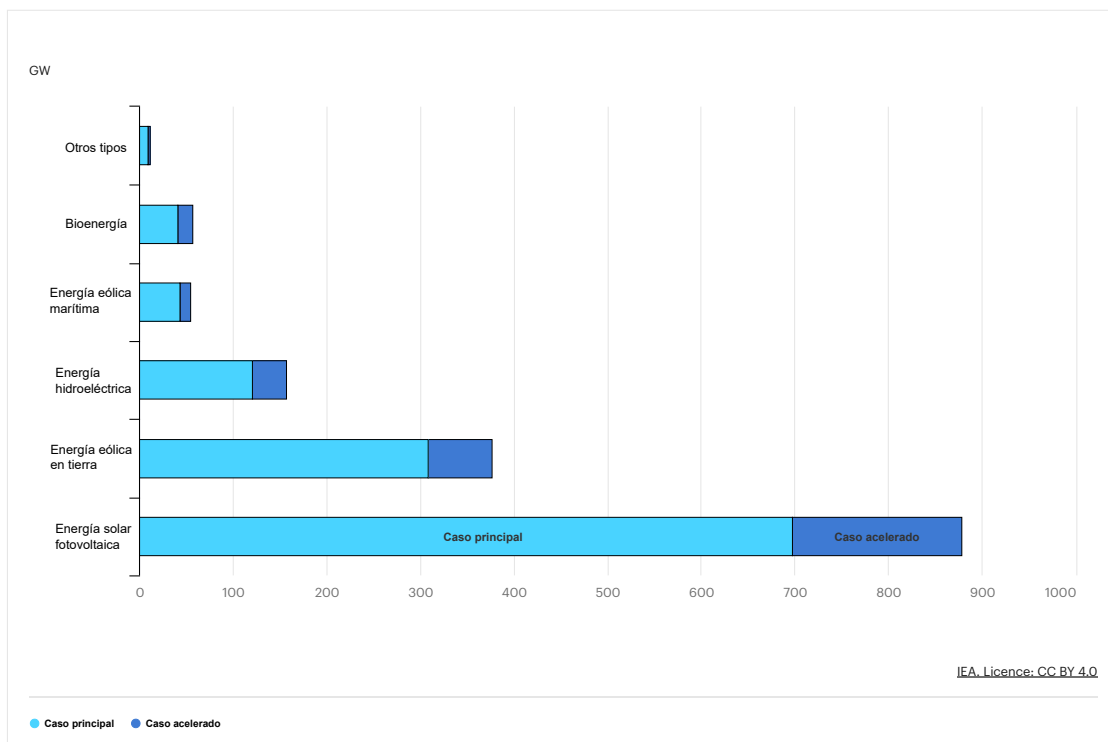
Las soluciones de energía renovable pueden utilizarse en diversas configuraciones, desde las redes conectadas a la red eléctrica hasta las redes no conectadas a ella y las soluciones autónomas nacionales.

En los emplazamientos rurales sin acceso a la red eléctrica, las redes autónomas de energía se convertirán en las redes de elección para alimentar los componentes de la infraestructura de banda ancha y para proporcionar electricidad a la economía rural, ofreciendo las ventajas de la escalabilidad, la flexibilidad y la modularidad.

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) se ha previsto que la capacidad de generación a partir de fuentes de energía renovable aumente un 50% (un incremento de 1 200 gigavatios) entre 2019 y 2024 (véanse las Figuras 13 y 14).

¹⁹ IRENA, *Renewable power generation costs in 2018*, <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>.

Figura 13: Crecimiento de la capacidad en energías renovables entre 2019 y 2024, desglosado por tecnología (en gigavatios)



Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE), Crecimiento de la capacidad en energías renovables entre 2019 y 2024, desglosado por tecnología.

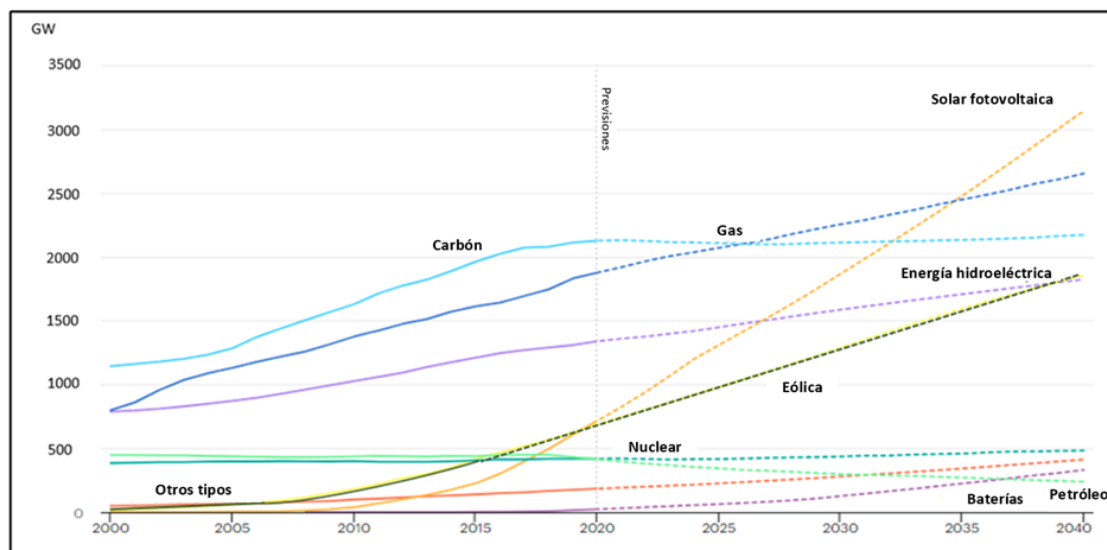
La energía renovable se ha convertido en la tecnología de elección. Para 2040, contribuirá aproximadamente al 66% (dos tercios) de toda la capacidad de generación de nueva energía en el mundo, y su contribución a la generación total de electricidad aumentará hasta más del 40% (véase la Figura 14).

Las soluciones renovables de minirredes y microrredes que no están conectadas a la red primaria deben emplear configuraciones híbridas que combinan los sistemas solares o eólicos con soluciones de almacenamiento de energía para gestionar la variabilidad y la intermitencia de estos tipos de fuentes de energía diversas. Esto permite garantizar una gran disponibilidad y seguridad de la electricidad distribuida por las minirredes o microrredes.

En su caso, las minirredes híbridas pueden utilizar fuentes de energía renovable junto con generadores diésel autónomos, lo cual constituye una opción interesante para los operadores que ya poseen parques de dichos generadores tradicionales. Estas soluciones pueden optimizarse para reducir al mínimo la longitud y la frecuencia de uso de los generadores diésel, consiguiendo ahorros importantes en el consumo de combustible, el mantenimiento y la explotación.

Varios avances importantes en las soluciones de almacenamiento de energía han repercutido positivamente en la fiabilidad del suministro de energía y han dado lugar a un incremento del uso de las soluciones de energía renovable en las zonas rurales. En los sistemas solares fotovoltaicos, las soluciones de almacenamiento de energía se utilizan principalmente para satisfacer la cresta vespertina y regular y atenuar la potencia suministrada en la red de minirredes. Cuando la minirred está conectada a la red eléctrica principal, el exceso de potencia se puede vender al operador de dicha red, ayudando así a reducir las emisiones de dióxido de carbono.

Figura 14: Capacidad de generación de energía instalada y prevista, desglosada por fuente, entre 2000 y 2040



(Capacidad de generación de energía instalada, desglosada por fuente, en el nuevo escenario de política, 2000-2040)

Fuente: AIE, *World Energy Outlook 2019*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

Se han realizado enormes progresos en el acceso a la energía durante los últimos años, y el índice de electrificación mundial alcanzó el 89% en 2017. Sin embargo, este avance ha eludido en gran medida a los PMA, en particular en África subsahariana, donde 580 millones de personas, que viven principalmente en zonas rurales, siguen sin tener acceso a la electricidad.

La AIE ha previsto que la capacidad de generación de energía eólica y solar fotovoltaica combinada represente más de un 38% de todo el conjunto de fuentes energéticas para 2040, en comparación con el 18% que representaba en 2018. Esto ofrece importantes oportunidades para que las zonas rurales de África y Asia, en donde se concentran algunos de los mayores recursos de radiación solar del mundo, implementen soluciones solares fotovoltaicas como fuente de electricidad más barata.

El costo de las energías renovables se desplomó un 77% hasta situarse justo por debajo del nivel de 0,03 USD/kWh, lo que hace que la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovable sea más competitiva que la obtenida a partir de alternativas que utilizan los combustibles fósiles (véase la Figura 15)²⁰.

La competitividad de las energías renovables ofrece grandes oportunidades para que las empresas privadas y compañías energéticas utilicen nuevos modelos de negocio con el fin de implementar soluciones innovadoras de energías renovables destinadas a cerrar la brecha de la electricidad entre las zonas rurales y urbanas, reducir al mínimo la utilización de combustibles fósiles y, con ello, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

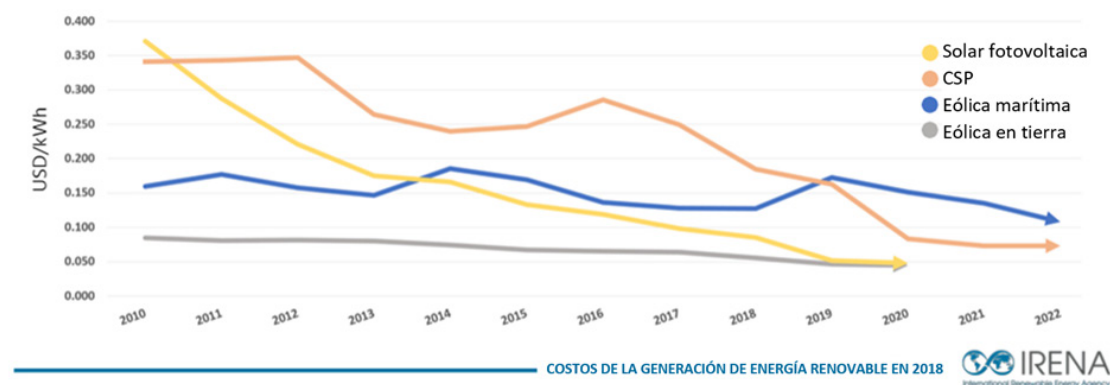
"La electrificación basada en energías renovables competitivas en costes es la columna vertebral de la transformación energética y una solución de descarbonización de bajo

²⁰ IRENA (2019) - El futuro de la energía solar fotovoltaica, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B.

coste clave para el cumplimiento de los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París" (IRENA, 2019)²¹.

Los avances realizados en las energías renovables y las innovaciones en las tecnologías digitales, apoyados por un firme compromiso político nacional con la agenda relativa al acceso a la energía, junto con la financiación y el emprendimiento local, pueden acelerar drásticamente la ampliación del acceso a la electricidad en las zonas rurales.

Figura 15: Costos de la generación de energía renovable en 2018



Fuente: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2019/May/Costs-2018-Press-Release-Spanish.pdf?la=en&hash=68C15BBF44D632B7FBB7F3945337D70AF4B82B8D>.

Los índices de electrificación en las zonas rurales, donde viven la mayoría de las personas que carecen de acceso a la electricidad, han ido aumentando rápidamente y, en 2018, se estimó que eran de aproximadamente un 76% según datos del Grupo Banco Mundial²².

5.2 Energía solar

La energía solar es la fuente de energía limpia más disponible ubicuamente y la más adecuada para la energía distribuida destinada a las instalaciones de telecomunicaciones en zonas rurales, debido a la modularidad de su tecnología: puede adaptarse fácilmente para atender las necesidades de potencia.

El despliegue acelerado de soluciones de energía renovable, en particular las tecnologías solares, reducirá considerablemente las emisiones de dióxido de carbono. Se ha previsto que la capacidad instalada de células solares fotovoltaicas se multiplique hasta casi por seis en los próximos diez años, y que los precios bajen en aproximadamente 0,08/kWh (costos de instalación) para 2030²³. Los avances tecnológicos realizados en la esfera de la energía solar, la competitividad de esta y las inversiones específicas en proyectos de electrificación rural, apoyadas por políticas contundentes, aportarán beneficios socioeconómicos considerables tanto a las comunidades urbanas como a las rurales.

²¹ La reducción de los costes de la energía renovable abre la puerta a una mayor ambición climática, <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Press-Release/2019/May/Costs-2018-Press-Release-Spanish.pdf?la=en&hash=68C15BBF44D632B7FBB7F3945337D70AF4B82B8D>.

²² IRENA, *Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access*; https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf.

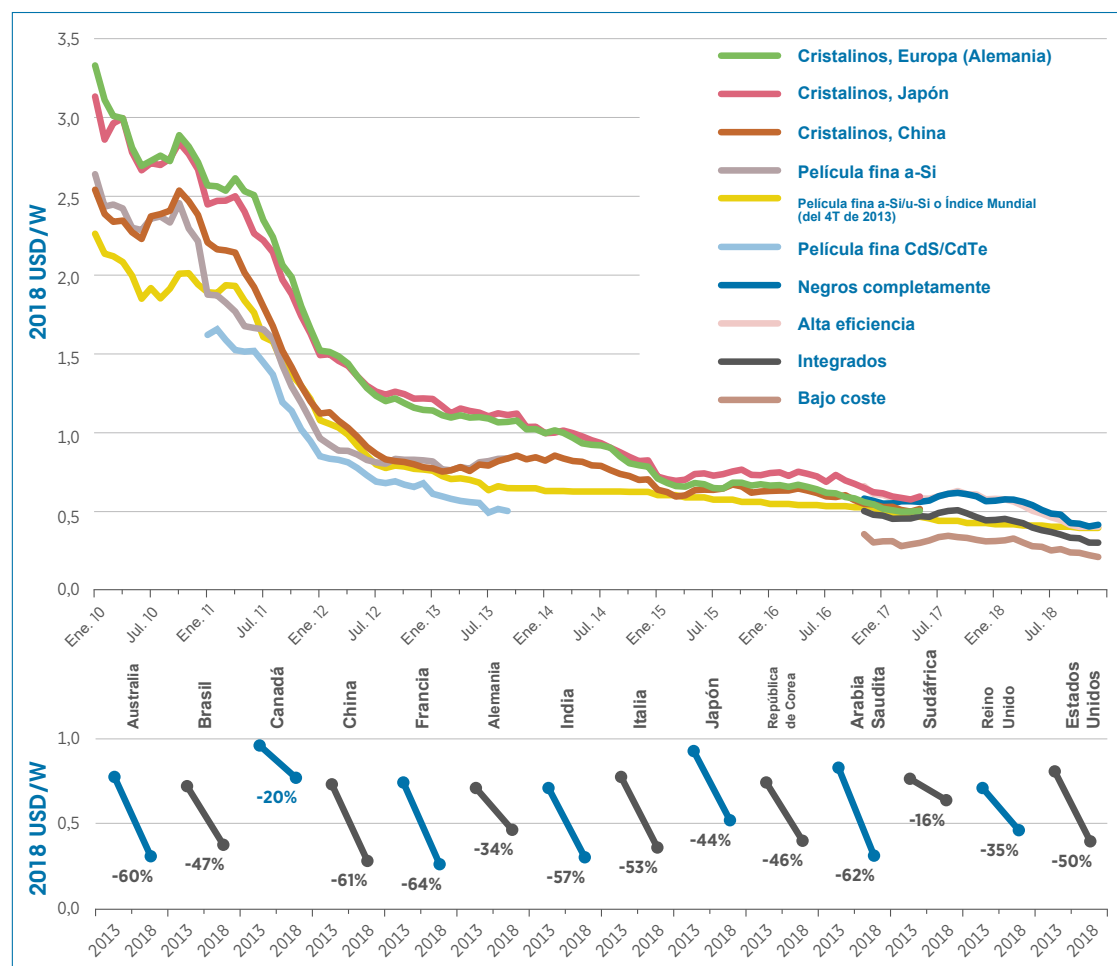
²³ IRENA, 2019: *El futuro de la energía solar fotovoltaica*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B.

La energía solar fotovoltaica creció a un ritmo más rápido que cualquier otra fuente de energía en 2016, principalmente como resultado del exitoso despliegue de esta energía en China. El crecimiento de los volúmenes y la mejora de las economías de escala han dado lugar a una importante disminución de los costos. Las energías renovables representan actualmente casi dos terceras partes de las adiciones de capacidad eléctrica de la nueva red en 2016, con la aparición de casi 165 gigavatios (GW) (véase la Figura 14). Se ha producido una reducción drástica y sostenida del costo de la electricidad procedente de la energía solar fotovoltaica producida a nivel comercial, ya que cayó más de un 77% entre 2010 y 2018 (promedio mundial ponderado, "Coste Normalizado de Electricidad", publicado por la IRENA en 2019). Esta importante disminución de los precios de la energía solar se ha producido en todas las regiones del mundo (véanse las Figuras 16 y 17).

En los países en desarrollo, en particular en África y Asia, la AIE prevé que se triplique la potencia hasta 3 000 MW en los programas de electrificación mediante energía solar fotovoltaica autónoma con la inversión del sector privado y otros programas de financiación. Sin embargo, el impedimento técnico más importante que afecta al despliegue de células solares es la necesidad de espacio físico, que está inversamente relacionada con la eficacia de los paneles. Cuanto más eficaz es un panel, menor espacio requiere.

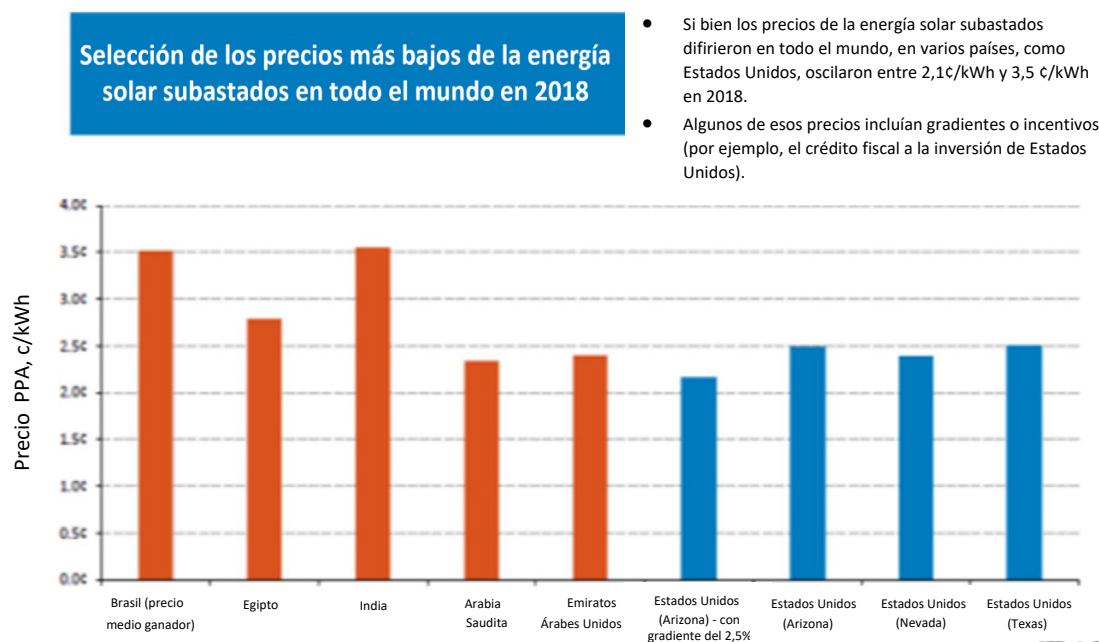
Figura 16: Reducción del precio de la energía solar fotovoltaica

Precios medios de los módulos según el tipo y el mercado, entre 2013 y 2018



Fuentes: Según la información de GlobalData, de 2018; la base de datos de la IRENA sobre el costo de las energías renovables, de 2019; la información de Photon Consulting, de 2018; y los datos de pvXchange, de 2019.

Figura 17: Precios más bajos de la energía solar subastados en 2018



Nota: PPA = Por sus siglas en inglés, contrato de compra-venta de energía
Fuente: Solar Power Europe – *Global Market Outlook for Solar Power, 2019-2023*

5.2.1 Panorama de la tecnología solar

El módulo fotovoltaico es la base de todo conjunto de sistemas de energía solar, que comprende varias células fotovoltaicas pequeñas que están conectadas eléctricamente. Utiliza una tecnología basada en semiconductores que convierte la luz solar en corriente continua (CC). Los módulos fotovoltaicos están diseñados con franjas de potencia eléctrica de entre unos pocos vatios hasta 100 vatios.

Los paneles de silicio cristalino (c-Si) son paneles solares fotovoltaicos de primera generación pero aún siguen constituyendo el 95% del mercado mundial de producción de energía fotovoltaica (Fraunhofer ISE, 2019), por lo que las economías de escala que logran los hacen más asequibles que otras tecnologías. Los paneles cristalinos ofrecen una gran eficiencia, de hasta un 17% para los paneles de silicio policristalino y un 18% para los de silicio monocristalino. En los próximos años se han previsto nuevas mejoras en los costes, la pureza de los materiales y el rendimiento (GlobalData, 2019).

Las tecnologías solares fotovoltaicas de segunda generación "de película fina" son más baratas de producir pero suelen presentar niveles inferiores de eficiencia. Se están realizando investigaciones sobre otros dispositivos, como las células de perovskita que ofrecen grandes niveles de eficiencia de hasta un 24,4%, pero aún no están listos para ser comercializados.

Una nueva tecnología celular se basa en la utilización de células PERC (emisor pasivado y contacto trasero). Estas tienen una arquitectura celular avanzada de silicio cuya construcción se asemeja a la de las células fotovoltaicas tradicionales de silicio monocristalino. Las PERC se están convirtiendo en la nueva norma del sector para las células de silicio monocristalino, gracias a la mejora de la fiabilidad, la calidad de funcionamiento y el rendimiento de las herramientas de producción.

Por consiguiente, la elección de la tecnología solar fotovoltaica más adecuada para una instalación específica está determinada por la solución de compromiso entre el costo de inversión en los paneles, la eficiencia de los módulos, el espacio disponible y los factores locales.

5.2.2 Disposición de los sistemas solares

Los sistemas fijos están diseñados para garantizar que los módulos solares instalados estén orientados hacia los rayos del sol (en la dirección del Ecuador) a fin de proporcionar un perfil óptimo de potencia de salida anual. La alternativa consiste en utilizar un diseño que pueda seguir al sol, como los sistemas de seguimiento de doble eje; sin embargo, estos sistemas son bastante más caros. La inclinación óptima, que sirve para maximizar la intensidad de la radiación directa, dependerá de las características climáticas y topográficas locales y debe tener en cuenta los costos de instalación.

Las condiciones de temperatura inciden en la calidad de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos. Cuando los paneles solares se combinan con reguladores de carga solar modernos que utilizan sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia, se mejora la calidad de funcionamiento de los paneles a temperaturas bajas, mientras que los reguladores de carga con diseño tradicional transfieren directamente la corriente desde la célula solar hasta la batería, sin tener en cuenta los cambios de la calidad de funcionamiento de la célula solar debidos a las condiciones ambientales²⁴. Los reguladores de carga dotados de sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia pueden optimizar la transmisión de corriente y dar lugar a importantes mejoras de la calidad de funcionamiento general.

Los módulos solares fotovoltaicos pueden instalarse en el suelo, en edificios/tejados o en mástiles/torres, con una inclinación fija o con sistemas de seguimiento solar de uno o dos ejes.

5.3 Aspectos que deben tenerse en cuenta para valorar los sistemas solares fotovoltaicos

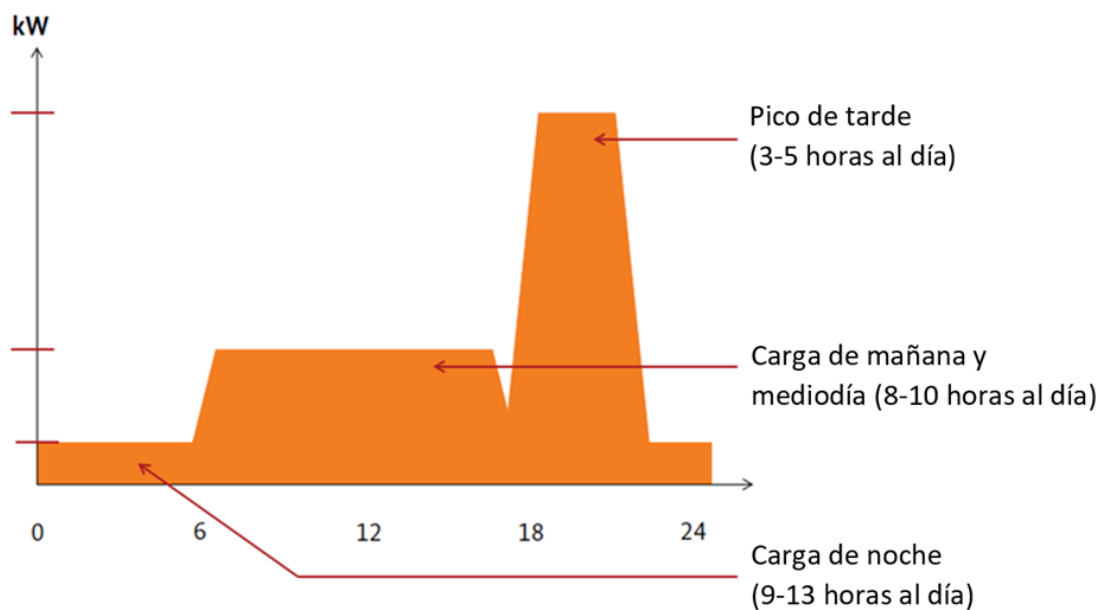
Después de realizar un estudio completo en el lugar y estimar las necesidades, lo primero que debe hacerse para valorar los requisitos de un sistema autónomo es prever la demanda, que debe tener en cuenta los aumentos futuros anticipados.

Se genera un perfil de carga típico, a fin de presentar la demanda de carga horaria media durante un periodo de 24 horas, junto con una planificación para el "caso más desfavorable" durante un periodo de un año, que puede estar determinada por tiempos nubosos y precipitaciones en zonas tropicales, o por nevadas en las zonas templadas.

En la Figura 18 se muestra un ejemplo de perfil de carga.

²⁴ En el N° 72 de *Home Power Magazine*, publicado en septiembre de 1999 (<http://www.homepower.com>), puede encontrar información técnica sobre los sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia.

Figura 18: Perfil de carga diaria típico en zona rural



Fuente: Perfil de carga diaria típico en zona rural (AIE, 2013).

Tras calcular la demanda de carga horaria, se calcula la carga máxima en kW. Debe incluir la energía necesaria para cargar las baterías de repuesto, así como la demanda de electricidad prevista. La demanda máxima total se evalúa teniendo en cuenta el factor de disminución de potencia, las pérdidas o las ineficiencias de todos los subsistemas. Algunos de estos componentes del sistema son:

El regulador de carga solar: regula el voltaje y la corriente desde los paneles fotovoltaicos hasta las baterías. Evita que las baterías se sobrecarguen y prolonga la vida de estas.

Inversor: transforma la corriente continua (CC) de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna (CA) limpia para un bus de CA o para alimentar aparatos de CA.

Batería o almacenamiento de energía: almacena energía, que a continuación se suministra a los aparatos eléctricos cuando hay demanda.

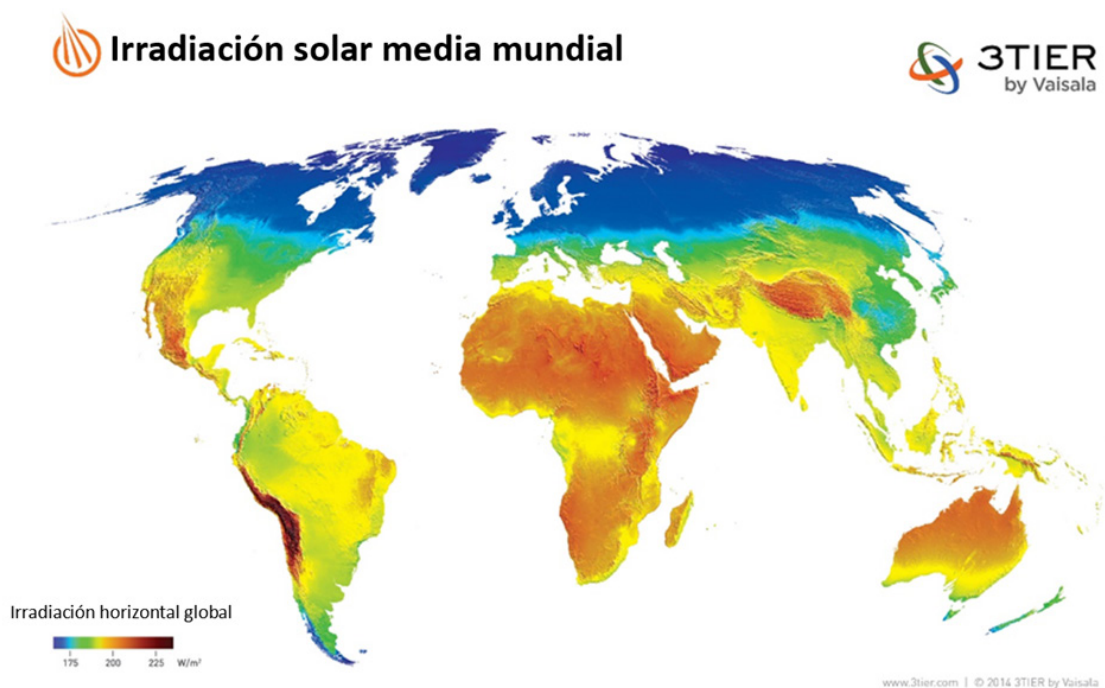
Carga: combinación de todos los aparatos eléctricos conectados al sistema solar fotovoltaico, como la iluminación, la radio, la televisión, los ordenadores, el frigorífico, etc.

Fuentes auxiliares de energía: Puede tratarse de un generador diésel u otra fuente de energía renovable.

Datos de irradiación

Se obtienen los datos climáticos apropiados para el área correspondiente, que proporcionan los valores de irradiación solar diaria media a partir de mapas (véase la Figura 19) o de otras fuentes de datos medidos y evaluados con exactitud.

Figura 19: Irradiación solar media mundial



https://www.researchgate.net/figure/Global-mean-solar-irradiance-10_fig3_275922125

5.3.1 Inversores solares – convertidores de corriente

Se conectan varios paneles solares fotovoltaicos en serie para formar un sistema. A continuación, el sistema se conecta a un inversor centralizado para convertir la CC generada por el sistema en CA. La corriente nominal de la salida de la CC es aproximadamente de entre 300 y 600 voltios, que se convierte al voltaje de CA apropiado para el territorio (el voltaje estándar para Europa es de 220-240 VCA en 50 Hz, mientras que para América del Norte es de 120 VCA en 60 Hz).

5.3.2 Ventajas de los sistemas solares respecto de los generadores diésel

Si bien los costos iniciales de los sistemas solares son muy superiores a los de los de un grupo electrógeno diésel, la energía solar es una opción más barata a largo plazo, dado que los generadores diésel necesitan ser alimentados y mantenidos periódicamente.

Para las instalaciones de telecomunicaciones rurales que se encuentran muy lejos de la red nacional, el método tradicional ha consistido en proporcionar generadores autónomos para proporcionar electricidad. La energía solar es una alternativa viable.

Las instalaciones solares tienen costos de funcionamiento muy bajos [para las aplicaciones de telecomunicaciones rurales, con periodos de garantía de más de 15 años, pero los fabricantes ofrecen a menudo garantía de](#) entre 20 y 25 años con una reducción anticipada de la salida de [en torno al 80% del rendimiento inicial](#) al final de dicho periodo.

5.4 Energía eólica

Las turbinas eólicas pequeñas tienen una capacidad de generación inferior a 100 kW y pueden ser una solución excelente para la electrificación rural y la alimentación de instalaciones de telecomunicaciones. Las turbinas suelen tener un diámetro de entre 7 y 15 metros, con una salida de potencia generalmente inferior a 50 kW.

Una turbina eólica tradicional puede generar electricidad a una velocidad del viento de 3 a 5 metros por segundo, alcanza la potencia máxima a unos 15 m/s y su velocidad de corte suele ser de aproximadamente 25 m/s (según el diseño).

Diseño y elementos de las turbinas eólicas

Las turbinas eólicas suelen estar diseñadas sobre la base de un eje horizontal, que ofrece mayor eficacia y seguridad en comparación con los diseños basados en ejes verticales.

- Diseños de las palas: En cada mástil se instalan entre 1 y 3 palas integradas.
- En las instalaciones muy pequeñas, como las domésticas, las turbinas eólicas tendrán un diámetro inferior a 2 m y una salida de aproximadamente 1 kW.
- Una velocidad media del viento de 5 m/s o superior puede permitir producir anualmente unos 300 kWh por cada metro cuadrado de superficie del rotor.
- Un área de 20 m barrida por dos rotores genera aproximadamente 6 000 kWh, y hasta 8 500 kWh a una velocidad de 6 m/s.

Las palas deben instalarse a una altura superior a 15 m de las turbulencias del suelo.

- Los aerogeneradores pueden tener una velocidad fija o variable.
- Los postes, mástiles o torres inclinados se utilizan mucho en los países en desarrollo, ya que son fáciles de instalar y ofrecen un acceso fácil para las operaciones de mantenimiento y reparación.
- La mayoría de las turbinas eólicas pequeñas tienen un generador magnético permanente (no necesitan engranaje).

El generador produce corriente alterna (CA), que es convertida a CC por un puente rectificador para producir una corriente similar a la de los sistemas fotovoltaicos.

El regulador de carga para los sistemas de carga de la batería integrada evita la sobrecarga, protege a la batería y evita que la turbina alcance una velocidad excesiva.

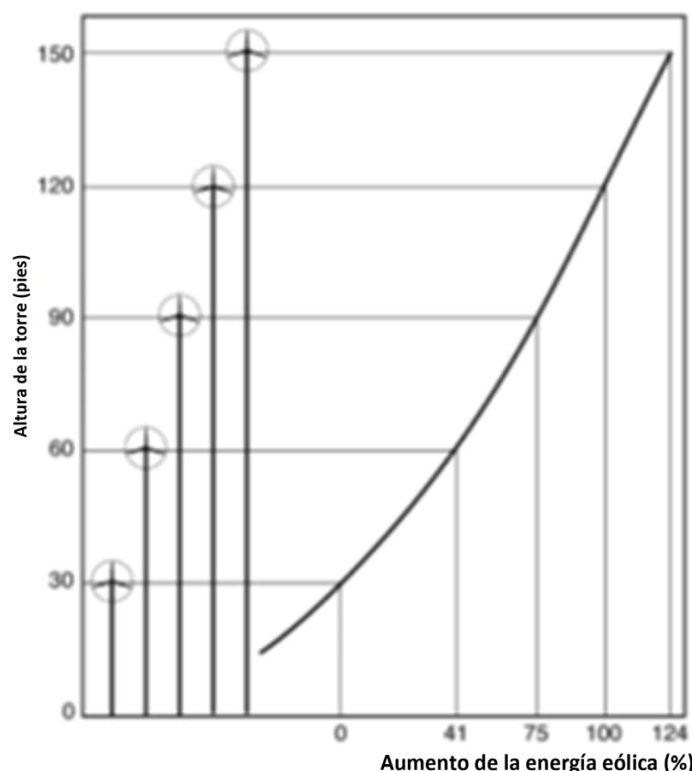
Cuando no se dispone de datos locales, hay que realizar mediciones exhaustivas del viento durante un periodo de tiempo prolongado antes de proceder con la instalación, ya que la ubicación específica de la turbina es muy importante y debe estudiarse detenidamente para evitar interferencias con el viento.

La energía eólica tiene los siguientes inconvenientes:

- Salida inestable, que depende mucho de la topografía y geografía local.
- Pocas veces se dispone de datos fiables sobre la velocidad del viento para todas las posibles ubicaciones, por lo que se necesitan herramientas especiales para identificar la mejor posición en una zona.
- Las torres de las turbinas eólicas tienen requisitos estructurales más estrictos e implican costes superiores a los de las torres de telecomunicaciones tradicionales, que no necesitan transportar cargas tan altas como las turbinas eólicas.
- Cuanta más potencia de salida se requiera, mayor y más complejo será el diseño de la torre para atender a las necesidades estructurales.

En la Figura 20 se ilustra la variación de la potencia de salida en función de la altura de la torre.

Figura 20: Potencia de salida de las turbinas eólicas y altura de la torre



Nota: Figura indicativa para ilustrar los efectos de la altura de la torre en la potencia de salida de la turbina eólica.

5.5 Pilas de combustible

Recientemente se han producido importantes avances en el desarrollo de tecnologías de pilas de combustible respecto de los tipos de combustible y la tecnología de generación.

Las pilas de combustible que utilizan hidrógeno como combustible son las más frecuentes. El hidrógeno es el combustible más limpio debido a sus características de oxidación total y al hecho de que no contamina (solo produce agua). Sin embargo, la adopción de pilas de combustible está obstaculizada por los elevados gastos de capital inicial, el alto costo de sustitución del combustible y la falta de infraestructuras que respalden el ecosistema de la cadena de suministro del combustible.

5.6 Biomasa

La biomasa es una interesante forma alternativa de tecnología ecológica que es ideal para la generación de energía distribuida a pequeña escala. El combustible se encuentra ampliamente disponible en las zonas rurales de los países en desarrollo y la tecnología se ha adoptado con cada vez más frecuencia para las aplicaciones de minirredes comunitarias.

Sin embargo, en las aplicaciones de telecomunicaciones, la biomasa presenta importantes desafíos respecto de la escalabilidad, la complejidad operativa, la fiabilidad de la cadena de suministro y la sostenibilidad. Todas las fluctuaciones de la disponibilidad de la fuente de la biomasa como las virutas de madera, los desechos agrícolas, etc. afectarán a la viabilidad y la sostenibilidad a largo plazo de la planta de energía.

5.7 Microsistemas hidroeléctricos

Los sistemas hidroeléctricos generan electricidad utilizando los mismos principios que las turbinas eólicas. La fuerza de la corriente de agua hace girar una hélice o una rueda hidráulica que está conectada a un generador. Esto produce una corriente eléctrica.

- Los microsistemas hidroeléctricos producen una potencia inferior a 100 kilovatios (kW).
- Los sistemas pico-hidro producen menos de 1 kW.

Los gastos de capital de los microsistemas hidroeléctricos están afectados por la elección del emplazamiento y el diseño básico.

La configuración del sistema se diseña en función de la masa de agua disponible.

La mayoría de las microinstalaciones hidroeléctricas son de tipo fluvial.

- No tienen un depósito importante.
- Producen electricidad solo cuando el río tiene un caudal de agua suficiente.
- La electricidad deja de generarse cuando el nivel del agua es bajo o el caudal es inadecuado.
- El impacto en el medio ambiente es mínimo.
- Los microsistemas hidroeléctricos pueden ser una fuente de electricidad de menor coste cuando la masa de agua es suficiente y hay corriente.
- Prestan servicio a las minirredes comunitarias y las instalaciones particulares.

Otras ventajas de los microsistemas hidroeléctricos son:

- constituyen una inversión segura y fiable durante varias décadas;
- pueden ser propiedad de una o varias personas o comunidades;
- su mantenimiento y construcción solo requieren habilidades semiespecializadas y una administración compartida;
- se implementan rápidamente si se dispone a nivel local de los materiales y competencias que requieren;
- ofrecen flexibilidad para adaptarse a rápidos cambios de la carga;
- tienen una vida útil larga (décadas).

Los microsistemas hidroeléctricos se pueden utilizar en lugares donde haya ríos o cascadas y en zonas rurales que no pueden acoger fácilmente los sistemas de energía solar o eólica. Son razonablemente fáciles de mantener y su implementación es menos costosa que la de los sistemas solares o eólicos. Los microsistemas hidroeléctricos representan una opción interesante para alimentar los sistemas de telecomunicaciones rurales.

Instalación y mantenimiento de microsistemas hidroeléctricos

Los microsistemas hidroeléctricos no son complejos desde el punto de vista técnico y pueden ser implementados y gestionados por la comunidad local.

- Requieren labores de mantenimiento con mayor frecuencia que los sistemas eólicos o fotovoltaicos equivalentes.
- Los rodamientos y escobillas de los generadores requieren operaciones de mantenimiento y sustitución periódicas.
- La turbina debe protegerse contra los residuos.

- Se genera energía todo el tiempo, por lo que las baterías se recargan constantemente y, por tanto, estos sistemas son adecuados para ser utilizados con baterías de ciclo poco profundo, como las destinadas a la automoción, sin las indebidas limitaciones relativas a la calidad de funcionamiento. Las baterías de ciclo profundo ofrecen una calidad de funcionamiento del sistema similar. Se especifican la longitud y el diámetro de la tubería de alimentación para adaptarse a la situación del agua y a la turbina, ya que de lo contrario la instalación será ineficaz.

Principales retos:

- La disponibilidad de una masa de agua adecuada cerca de una torre de telecomunicaciones.
- La incertidumbre relativa al suministro (masa y corriente de agua) en diferentes momentos del año.

Recomendación: en lugar de proporcionar su propio microsistema hidroeléctrico, los proveedores de servicios de banda ancha podrían considerar la posibilidad de crear un modelo de servicio basado en el suministro de electricidad por parte de proveedores de energía hidroeléctrica con arreglo a un modelo de negocio acordado, como los contratos de compra-venta de energía, o con costos fijos.

5.8 Comparación de fuentes de energía renovables - resumen

En el Cuadro 3 se exponen las principales ventajas e inconvenientes de las diversas fuentes de energía renovable que son adecuadas para las instalaciones autónomas rurales y distantes. La energía producida a partir de estas fuentes se utilizará principalmente para los sistemas de banda ancha y sus servicios de apoyo auxiliares pero podría mejorarse para prestar servicios de electrificación a las comunidades cercanas.

Cuadro 3: Ventajas de las fuentes de energía renovable

	Ventajas	Inconvenientes
Solar	<p>Recurso solar renovable, sostenible y disponible ubicuamente.</p> <p>Muy adaptable debido a su tecnología modular – aplicaciones de escala comercial o de muy pequeña escala.</p> <p>Adecuado para la generación de energía distribuida.</p> <p>Los paneles solares no implican gastos de mantenimiento, salvo para algunas labores no especializadas y puntuales para su limpieza.</p> <p>Ofrece costos competitivos en comparación con otras opciones de tecnología ecológica. Precios de la electricidad estables.</p> <p>Funciona sin producir emisiones durante una vida útil de 20 a 25 años.</p>	<p>Requiere espacios amplios para los despliegues de mayor capacidad.</p> <p>Intermitente, ya que depende del sol, pero previsible.</p> <p>Altos gastos de capital iniciales en comparación con las soluciones tradicionales basadas en el diésel.</p> <p>El robo y el vandalismo de los paneles suponen un riesgo elevado para la inversión (cercado).</p> <p>Baja densidad de potencia en comparación con los fósiles.</p> <p>Rentabilidad de la inversión a largo plazo.</p>

Cuadro 3: Ventajas de las fuentes de energía renovable (continuación)

	Ventajas	Inconvenientes
Eólica	<p>Adecuado para la generación de energía distribuida de pequeña escala.</p> <p>Requiere considerablemente menos espacio, en comparación con la solar.</p> <p>Bajos gastos de mantenimiento.</p> <p>Ofrece costos competitivos en comparación con las opciones de combustibles fósiles pero menos que los de la energía solar.</p> <p>Los precios de la electricidad son más estables que en el caso de las opciones de combustibles fósiles.</p>	<p>Baja rentabilidad: Debido a la variabilidad de la velocidad del viento, es imprevisible e intermitente.</p> <p>Gastos iniciales elevados.</p> <p>Rentabilidad al cabo de 10 a 20 años.</p> <p>Baja escalabilidad y elevada inversión.</p> <p>Necesita torres altas, de 20 a 40 metros para una generación óptima de energía.</p> <p>La fiabilidad de los equipos eólicos es muy variable.</p> <p>Funcionamiento ruidoso.</p> <p>Gastos de mantenimiento periódico elevados.</p> <p>Puede ser peligroso para las aves voladoras.</p>
Micro-sistemas hidro-eléctricos	<p>Eficaces y fiables cuando se dispone de recursos hídricos y de una corriente estable, en particular en las temporadas de lluvia o invierno (si no hay heladas).</p> <p>Los caudales bajos o las caídas de poca altura (corriente) son adecuados para generar electricidad.</p> <p>Bajos gastos de capital para los sistemas de pequeña escala.</p> <p>Funciona a la par del sistema fluvial, no requiere presas.</p> <p>Bajos gastos de mantenimiento.</p> <p>Versatilidad para su producción en países en desarrollo.</p>	<p>El emplazamiento elegido y la disponibilidad de flujos/ríos adecuados podrían estar lejos de la comunidad que ha de recibir el servicio.</p> <p>No se adapta fácilmente, y el tamaño y corriente del flujo/río podría limitar su expansión.</p> <p>Potencia más baja durante la temporada seca y los meses de verano.</p> <p>La estructura civil y las desviaciones de la corriente pueden ser problemáticas.</p>
Pilas de combustible	<p>Tecnología fiable.</p> <p>Sistema compacto, necesita menos espacio.</p> <p>Adecuado para tejados y contextos urbanos.</p> <p>Escaso mantenimiento.</p> <p>Pocas emisiones y nivel bajo de ruido.</p> <p>Menos propenso al robo y al vandalismo.</p>	<p>Los elevados gastos de inversión inicial y de tecnología lo convierten en una opción ecológica menos rentable.</p> <p>Depende mucho del ecosistema de suministro de combustible y de la logística. Requiere la construcción de plantas reformadoras de combustible y una cadena de suministro fiable.</p> <p>Gama limitada de capacidades para la generación distribuida.</p>

Cuadro 3: Ventajas de las fuentes de energía renovable (continuación)

	Ventajas	Inconvenientes
Biomasa	<p>Potencial abundante de biomasa.</p> <p>Amplia gama de capacidades de plantas.</p> <p>Se puede lograr un elevado nivel de fiabilidad con una sólida integración de la cadena de suministro.</p> <p>Amplia disponibilidad de la tecnología.</p>	<p>Complejidad operativa.</p> <p>Elevados costos de recursos y funcionamiento.</p> <p>Dificultades relacionadas con la alimentación de la biomasa y la dependencia del ecosistema de la cadena de suministro no fiable.</p> <p>Sensible al costo de los insumos, debido a la fluctuación de los precios de alimentación.</p>

Fuente: Adaptación de la GSMA, *Green Power for Mobile*

5.9 Sistemas autónomos de energía renovable

Las inversiones que se necesitan para un programa de ampliación del acceso de banda ancha en las zonas rurales son importantes, aunque los posibles ingresos son insuficientes para cubrir los gastos sin subvenciones u otros tipos de ayudas financieras.

La ampliación del acceso eléctrico de una infraestructura de red eléctrica convencional en zonas rurales poco pobladas sería inviable económicamente, ya que requeriría altos costos de inversión para hacer llegar las redes de distribución y las líneas de transmisión de alta tensión a lugares distantes.

Según la IRENA²⁵, las soluciones de energía renovable no conectadas a la red, con inclusión de los sistemas autónomos, las microrredes y minirredes como soluciones de electrificación viables, han aparecido como opciones convencionales y con costes competitivos para ampliar el acceso a las comunidades insuficientemente atendidas o desatendidas. Los sistemas autónomos funcionan con independencia de la red eléctrica nacional y están operados por empresas privadas, a veces en asociación con grupos comunitarios locales o en colaboración con los operadores nacionales tradicionales.

En la Figura 21 se ilustra la segmentación de la red eléctrica y la red de minirredes, y se demuestra que las minirredes son la solución más apropiada para la electrificación de zonas poco pobladas. En este segmento, las minirredes ofrecen el precio minorista de la electricidad no subvencionada más bajo, en comparación con la ampliación de la red eléctrica.

Si bien las zonas urbanas han sido atendidas con distintos grados de éxito en el mundo en desarrollo por la red eléctrica nacional, la inmensa mayoría de los clientes de las zonas rurales de los PMA, en particular, registran continuamente problemas relacionados con la capacidad y la cobertura.

Las soluciones autónomas se implementan para generar electricidad en comunidades desatendidas que no tienen acceso a la red nacional o en zonas insuficientemente atendidas donde el suministro de la red eléctrica no es seguro o asequible. Las redes eléctricas autónomas dan apoyo a la electrificación doméstica, pero la mayor parte de la capacidad se destina a

²⁵ Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access, https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf.

usos comerciales (por ejemplo, la alimentación de la infraestructura de telecomunicaciones), usos finales industriales (por ejemplo, la cogeneración), los servicios públicos (por ejemplo, el alumbrado público, la educación, los centros de salud y el bombeo de agua) y los medios de vida (por ejemplo, la pesca y la agricultura).

La implementación regional de estos sistemas debe basarse en los factores económicos, geográficos y sociales locales²⁶.

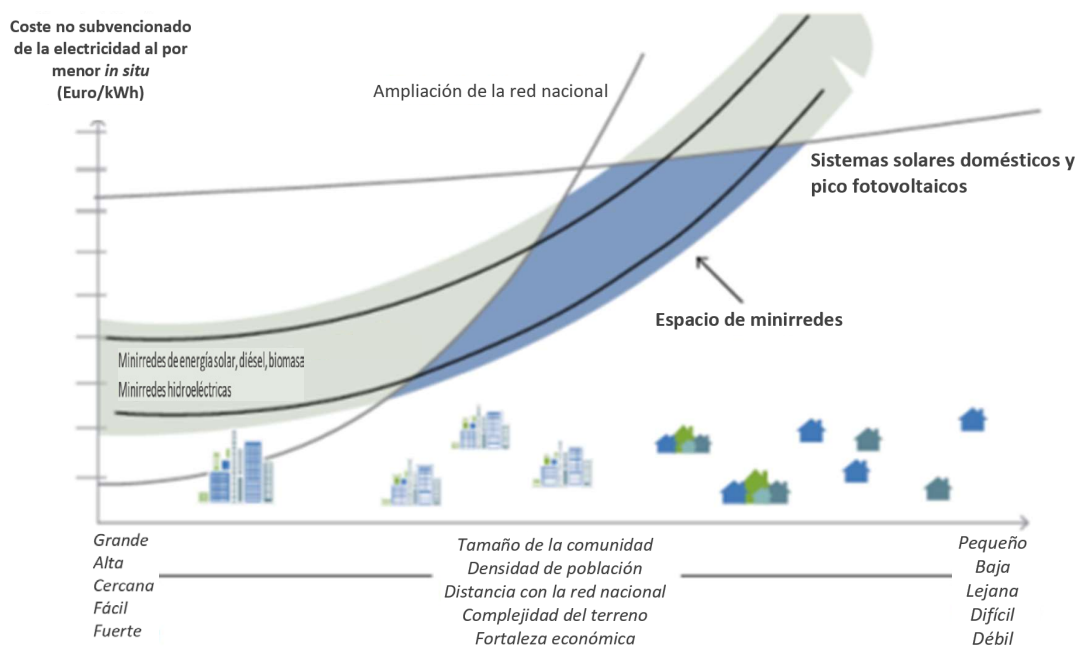
Las soluciones autónomas se pueden adaptar a las condiciones locales, son ecológicamente sostenibles y pueden empoderar a las comunidades rurales y apoyar a los servicios públicos digitales en las esferas de la educación, la salud, etc.

La AIE estima²⁷ que el suministro de electricidad para todos de aquí a 2030 requeriría una inversión de 52 000 millones al año. La modelización geoespacial detallada sugiere que los sistemas descentralizados, dirigidos por paneles solares fotovoltaicos en minirredes autónomas, constituyen la solución que supone el mínimo costo para tres cuartos de las conexiones adicionales que se necesitan en África subsahariana.

Figura 21: Segmento de minirredes (una función cada vez más importante asumida por las minirredes y las energías renovables)

Ilustración del espacio en el que las minirredes son la solución de electrificación rural más sostenible.

(Oportunidades para la ampliación de la red, las minirredes y los sistemas distribuidos de energía renovable)



Fuente: EUEI PDF/REN21 2014

²⁶ https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/MGT/MinigridPolicyToolkit_Sep2014_EN.pdf.

²⁷ Energy Access Outlook 2017, www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017.

5.9.1 Minirredes

Una minirred es una red de distribución eléctrica que puede funcionar de manera aislada de las redes de transmisión eléctrica de la red nacional con el fin de generar electricidad a pequeña escala, normalmente entre 10 kW y 10 MW, y ofrecerla a un número limitado de clientes mediante una red de distribución local²⁸. Las minirredes son la opción más apropiada para alimentar las instalaciones remotas y las comunidades rurales en las que el costo de conexión a la red es prohibitivo.

Las microrredes son como las minirredes pero más pequeñas, y tienen una capacidad de generación comprendida entre 1 kW y 10 kW. Las microrredes se pueden personalizar más fácilmente para dar servicio a comunidades dispersas con grupos de edificios aislados o más pequeños.

Las minirredes pueden personalizarse para proporcionar de manera más económica electricidad a asentamientos concentrados, con inclusión de las instalaciones domésticas, las industrias familiares, las empresas, las instituciones, los operadores de telecomunicaciones y los centros de servicios públicos que reciben electricidad con un nivel igual o superior al de la red eléctrica. Las minirredes pueden ser operadas por operadores de telecomunicaciones, empresas de servicios públicos u otras empresas privadas especializadas, organizaciones comunitarias o una combinación de estos.

En muchas partes del mundo, las minirredes siguen utilizando diésel para la electricidad; sin embargo, el uso de soluciones de energía renovable como la energía solar, hidroeléctrica, de biomasa o eólica, reduce los costos, aumenta la seguridad energética y disminuye la contaminación ambiental.

En las zonas rurales que están lejos de la red eléctrica nacional, los operadores de minirredes pueden vender la electricidad a clientes de anclaje como los operadores de telecomunicaciones y las industrias locales, y pueden obtener ingresos adicionales distribuyendo asimismo la electricidad a clientes de las comunidades locales. Las empresas dedicadas a la explotación de torres que generan electricidad y prestan servicios a los principales clientes operadores de telecomunicaciones también podrían prestar servicios a la comunidad local y aumentar así el rendimiento de su inversión.

El Cuadro 4 muestra la aplicación y clasificación de las redes de minirredes y las características técnicas de cada tipo de red. El sistema de niveles de la iniciativa "Energía Sostenible para Todos" (SE4ALL) de las Naciones Unidas es un sistema de medición y evaluación del acceso a la electricidad utilizado para realizar comparaciones a nivel mundial.

La evaluación de las soluciones de electrificación puede clasificarse según una serie de aplicaciones y parámetros de calidad indicados en el Cuadro 4.

²⁸ Programa de Cooperación en Energía Renovable África-UE. *Mini-grid Policy Toolkit*, <http://www.minigridpolicytoolkit.euei-pdf.org/policy-toolkit>.

Cuadro 4: Marco de Seguimiento Mundial 11 de la iniciativa SE4ALL de las Naciones Unidas

Acceso a la energía según el Marco de Seguimiento Mundial de SE4ALL	No	Básico	Avanzado			
Atributos	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
		Luz de trabajo y carga de teléfonos	Iluminación general y televisión y ventiladores	Nivel 2 y aparatos de baja potencia	Nivel 3 y aparatos de potencia media	Nivel 4 y aparatos de alta potencia
Capacidad de cresta disponible 12 (vatios)	-	>1 W	>20 W/50 W	>200 W/500 W	>2 000 W	>2 000 W
Duración (horas)	-	>4 horas	>4 horas	>8 horas	>16 horas	>22 horas
Suministro nocturno (horas)	-	>2 horas	>2 horas	>2 horas	>4 horas	>4 horas
Asequibilidad	-		√	√	√	√
Formalidad (legalidad)				√	√	√
Tecnología mínima indicada		Nano-redes/micro-redes, linterna pico foto-voltaica/solar	Microrredes/minirredes, baterías recargables, sistemas solares domésticos	Micro-redes, minirredes, sistemas domésticos	Minirredes y red	Minirredes y red

Fuente: Adaptación del Banco Mundial, 2014.

Las fuentes de energía renovable como la solar, la hidroeléctrica, la eólica, la biomasa y las pilas de combustible se utilizan en minirredes de energía limpia con una batería auxiliar para equilibrar la demanda y la oferta a lo largo del día. Los generadores diésel también se pueden utilizar en minirredes como respaldo.

Algunas de las ventajas de la instalación de redes de minirredes o microrredes son:

- la potencia de calidad de red;
- el rápido despliegue del servicio en las instalaciones de telecomunicaciones y las comunidades (semanas o meses, no años);
- pueden ajustarse a la demanda local y son adaptables y flexibles;
- están más cerca de la comunidad que va a recibir el servicio, por lo que se reducen los costos de transmisión;
- en el caso de las microrredes, estas ofrecen oportunidades para que el sector privado y la comunidad se asocien a fin de dar servicio a la comunidad no conectada a la red (operadores, hogares y empresas) a partir de fuentes locales mediante líneas de distribución de baja potencia.

Las minirredes son particularmente apropiadas y asequibles para las estaciones de base distantes y las comunidades con densidad media cuya población está dispersa y lejos de la red nacional, o reside en zonas con un suministro de energía poco fiable o una electricidad en red inasequible.

Los sistemas solares domésticos autónomos son adecuados cuando la población local está dispersa y las viviendas están lejos de la red y requieren pocas cantidades de electricidad.

Las tecnologías solar y eólica alimentan principalmente las instalaciones de telecomunicaciones en zonas rurales y distantes. Se ha previsto que constituyan más del 80% del crecimiento de la capacidad en energías renovables a nivel mundial en los próximos cinco años.

Cuadro 5: Intervenciones relativas al acceso a la energía y ventajas en materia de eficiencia energética - Oportunidades en contexto

Nivel de acceso	Tecnología o modo de suministro	Propuesta de valor en materia de eficiencia energética
Nivel 1	Linternas solares portátiles/ sistemas pico fotovoltaicos	Los diodos emisores de luz eficientes en el plano energético reducen drásticamente el tamaño y los costos de los paneles solares fotovoltaicos y las baterías que se necesitan para prestar servicio, haciendo que estas tecnologías sean asequibles para los amplios y nuevos segmentos de mercado.
Niveles 2, 3 y 4	Sistemas autónomos	Los aparatos eficientes desde el punto de vista energético reducen drásticamente las necesidades de suministro de energía, y permiten que un determinado sistema autónomo preste un mejor servicio y que sistemas más asequibles y pequeños presten un servicio equivalente.
	Microrredes y minirredes	Los aparatos y dispositivos eficientes desde el punto de vista energético pueden aumentar el número de conexiones que puede aceptar una minirred, y pueden reducir las necesidades de gasto de capital de un sistema, con la posibilidad de mejorar la viabilidad financiera.
	Usos industriales/ comunitarios	La eficiencia energética reduce los costos de la energía y/o amplía el tiempo de funcionamiento de los productos motorizados como los molinos, las amoladoras y las bombas. El alumbrado exterior LED con energía solar eficiente aumenta la seguridad pública y facilita el comercio nocturno. Se ha determinado que los sistemas de bombeo solares eficientes para el riego son más asequibles que la media de las bombas eléctricas. Los aparatos médicos eficientes funcionan de manera más segura en las clínicas rurales poco electrificadas o requieren sistemas energéticos más pequeños y más asequibles.

Cuadro 5: Intervenciones relativas al acceso a la energía y ventajas en materia de eficiencia energética – Oportunidades en contexto (continuación)

Nivel de acceso	Tecnología o modo de suministro	Propuesta de valor en materia de eficiencia energética
Nivel 5	Electrificación de la red/ reforma del sector energético	Las mejoras de la eficiencia tanto en la oferta como en la demanda pueden mejorar la fiabilidad del sector energético y sus resultados económicos, reduciendo con ello los precios al consumidor y aumentando la probabilidad de que se abonen las facturas energéticas. En los sectores que ofrecen precios subvencionados, la eficiencia puede reducir los costos del gobierno.

Nota: la iniciativa SE4ALL ha desarrollado un marco multiniveles para realizar un seguimiento del acceso a la energía a nivel mundial. El nivel 1 representa los servicios de bajo consumo energético y el nivel 5 incluye la conectividad plena a la red con aparatos de mayor potencia.

Fuente: <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2014/11/Africa-Market-Report-GPM-final.pdf>

5.9.2 Sistemas autónomos

Los sistemas autónomos son sistemas eléctricos de pequeña escala que incluyen los sistemas solares domésticos y los sistemas pico fotovoltaicos que no están conectados a una red de distribución eléctrica. Un sistema autónomo puede atender las necesidades de clientes particulares, un hogar, una pequeña empresa familiar o una unidad comercial en zonas poco pobladas donde la posible demanda es baja. Los sistemas solares domésticos de hasta 150W pueden utilizarse para alimentar lámparas solares, la iluminación ambiente, la recarga de teléfonos móviles, los ordenadores y los dispositivos pequeños. Los sistemas pico fotovoltaicos proporcionan una potencia de hasta 10W para artículos como las lámparas solares, las radios y los sistemas de recarga de teléfonos.

Los sistemas autónomos no conectados a la red utilizan recursos de energía renovable disponibles a nivel local, en particular la energía de biomasa, eléctrica, hidroeléctrica y solar. Estos sistemas incluyen con frecuencia sistemas de almacenamiento que suelen consistir en un conjunto de baterías que permite que los dispositivos de CC de baja tensión sean directamente alimentados por la batería o utilizados para la iluminación y los aparatos de CC pequeños. Se puede generar CA de baja tensión utilizando un inversor para alimentar los aparatos de CA estándares²⁹.

Los sistemas autónomos son más apropiados para las comunidades con hogares dispersos y lejanos de la red y con una demanda de electricidad modesta.

²⁹ Rashid Al Badwawi y otros, *A Review of Hybrid Solar PV and Wind Energy System*, <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23080477.2015.11665647?needAccess=true>.

Clasificación de los sistemas solares autónomos por categorías

Sistemas pico fotovoltaicos (PPS)

- Sistema solar doméstico pequeño – potencia emitida de 1 a 10W:
 - se utiliza principalmente para la iluminación, el cargador de teléfonos móviles, los aparatos informáticos pequeños y la radio.
- Panel solar pequeño con batería y lámpara. El panel fotovoltaico puede fijarse en el propio producto (por ejemplo, las linternas solares).
- Fáciles de instalar (sin preparativos), fáciles de utilizar por el usuario, bajos costes de inversión, poco mantenimiento, alto grado de adaptabilidad y uso flexible.

Sistemas solares domésticos clásicos (SHS)

- Sistema solar doméstico clásico – máxima potencia emitida de 250 W.
- Formados por varios componentes independientes:
 - módulos, regulador de carga, batería y cargas.
- La gestión de la energía corre a cargo del regulador de carga.
- Los beneficios de los SHS clásicos son las cargas de CC:
 - lámparas de bajo consumo alimentadas por CC, radios, TV y frigoríficos.

Los SHS son sistemas muy eficientes desde el punto de vista energético y no generan pérdidas de conversión.

Sistemas solares residenciales (SRS)

- Sistemas fotovoltaicos independientes más grandes (SRS):
 - en el caso de los sistemas pico solares, la potencia máxima es de 2 a 10W;
 - ideales para aplicaciones rurales o domésticas.
- Electricidad para grandes instalaciones particulares como hoteles, hospitales, escuelas, fábricas, etc.
- Funcionamiento y mantenimiento fáciles.
- Aplicaciones no dependientes de la red.
- Algunos de los elementos clásicos de un sistema fotovoltaico autónomo son el módulo solar, el regulador de carga, la batería de plomo-ácido/el almacenamiento de litio, los inversores y las cargas (aparatos).

Se están creando soluciones de equipos solares con conectividad combinada, que ofrecen una solución doble al mínimo coste.

5.9.3 Comparación de fuentes de energía renovables y de combustibles fósiles para aplicaciones de minirredes

Debido a su modularidad, las tecnologías de energía renovable pueden implantarse y personalizarse rápidamente para atender a la demanda energética utilizando los recursos y capacidades disponibles a nivel local.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía procedente de fuentes fósiles pueden reducirse de manera considerable e inmediata cambiando la electrificación por fuentes renovables. No solo se reducirán los niveles de contaminación atmosférica, con los consecuentes beneficios para la salud pública, sino que también se generarán beneficios socioeconómicos importantes gracias al desarrollo de una economía interconectada y digitalizada.

En el Cuadro 6 se describen las características técnicas de diversas soluciones de energía renovable y basadas en combustibles fósiles que pueden utilizarse en sistemas conectados y no conectados a la red.

Cuadro 6: Características de soluciones de energía renovable en minirredes y sin conexión a la red, 2012/13

	Sistemas conectados a la red	Minirred <50 MW/ consumo propio	Sistemas autónomos/sistemas de electrificación individuales	Uso productivo
Gas	~ 1 500 GW			Sistemas combinados de calor y electricidad alimentados por gas >1 GW
Diésel		5-10 GW 50 000-100 000 sistemas		
Hidroeléctricos	Grandes >10 MW 10 000-50 000 sistemas >1 000 GW	Pequeños <10 MW 100 000-150 000 sistemas de 75 GW	Microhidroeléctricos 0,1-1 MW Pico-hidroeléctricos <0,1 MW	
Eólicos	310 GW 250 000 turbinas	Híbridos eólicos-diésel <1 000 sistemas de aldeas/minería	Pequeñas turbinas eólicas 0-250 kW 806 000 turbinas	Bombas eólicas >500 000
Solares fotovoltaicos	50 GW/0,5 mln sistemas grandes >50 kW 80 GW/10-20 mln sistemas en tejado 1-50 kW	Híbridos fotovoltaicos-diésel <1 000 sistemas de aldeas	SHS <1 kW Sistemas de 5-10 mln	Iluminación solar 5 mln; torres de telecomunicaciones 10 000; bombas de agua solares; frigoríficos/sistemas de refrigeración fotovoltaicos; sistemas de alumbrado público; señales de tráfico; estaciones de recarga de teléfonos

Cuadro 6: Características de soluciones de energía renovable en minirredes y sin conexión a la red, 2012/13 (continuación)

	Sistemas conectados a la red	Minirred <50 MW/ consumo propio	Sistemas autónomos/sistemas de electrificación individuales	Uso productivo
Biogás/biodiésel de alimentación	14 GW 30 000-40 000 sistemas	Plantas de biogás < 100 kW > 1 millón de sistemas de biogás, gasificación/cáscara de arroz etc. 1 000-2 000 sistemas		Explotaciones ganaderas/generadores de biodiésel de reserva
Cogeneración de biomasa	20 GW pulpa, azúcar/etanol 1 000-2 000 sistemas/ciclos de vapor/CH de 20-30 GW 1 000-2 000 sistemas planta de carbón de combustión combinada de 5-10 GW 250-500 sistemas			

Fuente: IRENA: Sistemas de energías renovables no conectados a la red

5.10 Componentes básicos de una instalación de minirred:

Un sistema de electricidad renovable en minirred tiene varias características básicas, que se muestran en la Figura 22.

- 1) Generadores/fuente de energía renovable:
La electricidad puede producirse a partir de las fuentes siguientes: módulos solares fotovoltaicos, turbinas eólicas, mini turbinas hidroeléctricas de corrientes de agua o ríos cercanos y acondicionadores de potencia de biomasa.
- 2) Inversores:
Los inversores de CC a CA se utilizan para convertir la energía de los paneles solares a tensión de CA para alimentar los dispositivos de CA en el lugar. Algunas opciones disponibles son los inversores monofásicos o los microinversores. Los transformadores de CC a CC adaptan la tensión de salida de CC de los sistemas solares al nivel que necesitan los equipos y aparatos.
- 3) Rectificadores:
Convierten la tensión de CA de las turbinas eólicas, hidroeléctricas, etc. en CC para los equipos que lo necesitan.
- 4) Almacenamiento de energía – baterías y sistemas de almacenamiento de mayor capacidad:
Las minirredes que utilizan energías renovables (solar y eólica) y proporcionan energía variable a lo largo del día necesitarán un almacenamiento por batería de tamaño adecuado para proporcionar electricidad de manera continua. El exceso de electricidad generado por estos sistemas se almacenará y suministrará cuando sea necesario, compensando así las fluctuaciones de la disponibilidad. En las minirredes más pequeñas (es decir, de menos

de 300 kW) se suelen utilizar bancos de baterías, mientras que los sistemas más grandes utilizan otras formas de sistemas de almacenamiento como las baterías de litio.

5) Red de distribución:

El tipo de sistema de distribución utilizado depende del servicio que se va a prestar en la red y los tipos de aparatos que se utilizarán. La red puede diseñarse como un bus de CC o un bus monofásico o trifásico, para adaptarse a las características de los sistemas o de la red. Para las redes que prestan servicios a clientes particulares, empresas o industrias, el consumo debe medirse y registrarse a efectos de la facturación.

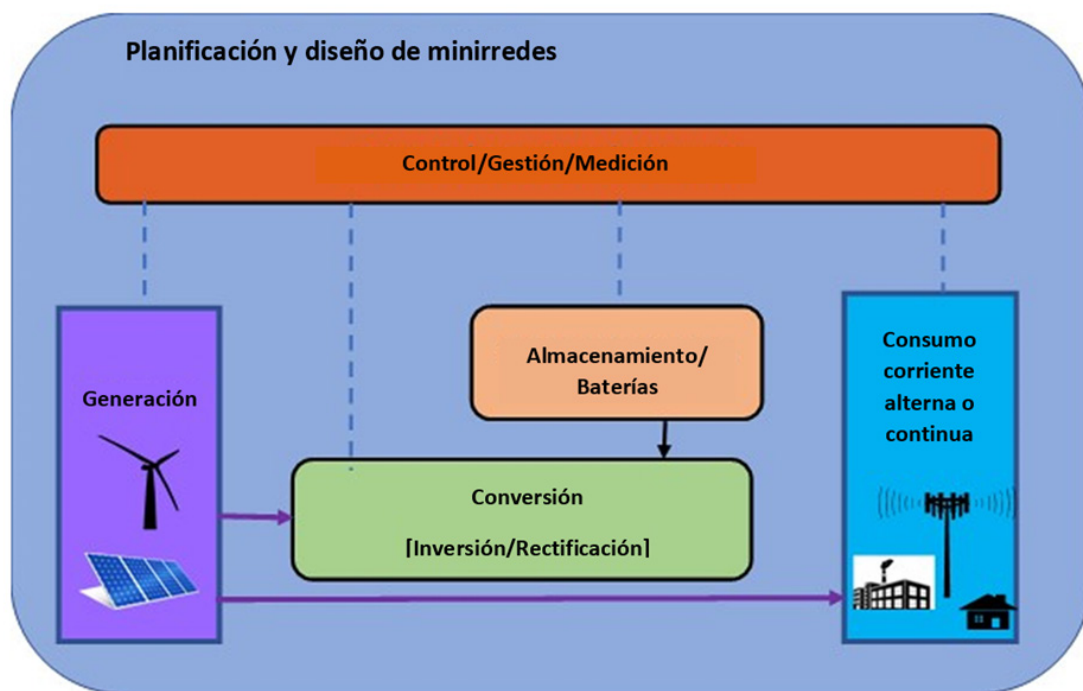
6) Subsistema de usuario/aplicación:

Para los operadores que prestan servicios a usuarios finales, esto podría incluir los equipos situados en el lado del cliente, como el cableado interno, los contadores, las encalladuras, los equipos de TIC y los aparatos eléctricos.

7) Sistemas de gestión inteligente:

Realizan tareas como el control de los sistemas, la gestión y optimización de la red, la contabilidad, las mediciones de la mejora de la eficiencia energética de la red y, en su caso, la conexión a la red. Las TIC también pueden utilizarse para realizar mediciones inteligentes y automatizar la facturación y el pago mediante teléfono móvil.

Figura 22: Funcionalidades de las minirredes



Algunas de las funciones de control de las minirredes son las estrategias de protección y la toma de decisiones inteligentes. Se podría utilizar la inteligencia artificial (IA) para optimizar los resultados de las tecnologías de energía renovable y maximizar la eficiencia energética de la minirred. La IA puede facilitar la realización de predicciones exactas de las condiciones climáticas y la demanda de carga en el futuro, activando controles para mejorar el desempeño de los sistemas y minimizar los gastos de explotación generales.

Las funciones de comunicación de datos abarcan la recopilación de datos reunidos por los sensores, su transmisión a los controladores y la transmisión ulterior de las instrucciones generadas por los controladores a los que actúan en los sistemas automatizados³⁰.

La función de conversión de un sistema de minirred renovable permite que la energía generada a partir de fuentes renovables se convierta y adapte para responder a las características de la carga y los sistemas de almacenamiento en la minirred. Estas se pueden clasificar en función de la potencia de entrada y salida:

- Los transformadores ofrecen la adaptación de la CC en CC y la CA en CA.
- Los rectificadores convierten la CC en CA (por ejemplo, la energía solar de CC para alimentar la carga de CA).
- Los inversores convierten la CA en CC (por ejemplo, el diésel en CA para cargar las baterías/el almacenamiento de energía de CC).

Una minirred o microrred puede diseñarse como red de CA o CC en función de la principal carga a la que va a servir.

Los inversores que conforman redes son capaces de crear una red de CA en minirredes renovables autónomas.

5.11 La red de banda ancha rural alimentada por energía solar - HopScotch Escocia

HopScotch es una red de banda ancha alimentada por energía solar, especialmente diseñada para la conectividad rural.

Estudio de caso - La red de la estación de base HopScotch en Escocia

HopScotch es una instalación de red de banda ancha probada en tierras altas e islas remotas y poco pobladas de la costa occidental de Escocia. Este ensayo se realizó en una región rural situada lejos del punto de intercambio de tráfico de Internet más cercano y sin acceso a la red eléctrica. La configuración de una infraestructura de banda ancha que pueda ofrecer cobertura en una amplia zona rural mediante una estación de base móvil alimentada por generadores diésel requeriría una importante inversión de capital en zonas en donde la red eléctrica no se encuentra disponible o no es segura. Además del alto y cada vez mayor coste del combustible, los gastos adicionales relacionados con su transporte y el mantenimiento, los generadores diésel son ruidosos y emiten gases de CO₂.

Red inalámbrica

Las instalaciones de prueba de la estación de base de HopScotch son sistemas radioeléctricos que funcionan en las bandas de "espacios en blanco" de 5 GHz en Wi-Fi y ondas decimétricas para alumbrar comunidades que utilizan:

- sistemas de acceso inalámbrico punto a multipunto (PMP) de baja potencia (similares a los sistemas Wi-Fi);
- radioenlaces de retroceso y retransmisión punto a punto (P2P) que conectan la estación de base a la red troncal, o cuando se encuentra disponible, se puede conectar directamente una estación de base transceptora a una red troncal IP;

³⁰ https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Minigrids_2016.pdf.

- la estación de base transceptora está alimentada por energía renovable híbrida WindFi, sin conexión a la red (paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas y baterías de almacenamiento).

Estos sistemas radioeléctricos están diseñados para reducir al mínimo el consumo alimentado completamente por energías renovables y no como las estaciones de base celulares convencionales con sistemas de enfriamiento que requieren cantidades de energía importantes.

Prototipo de estación de base "WindFi" en la Isla de Bute (2010)



Prototipo de estación de base "WindFi" en la Isla de Bute (Escocia). La base contiene paneles solares y baterías, sobre los que reposa un mástil de 10 m que soporta la turbina eólica con antenas y equipos radioeléctricos directamente en la parte inferior.

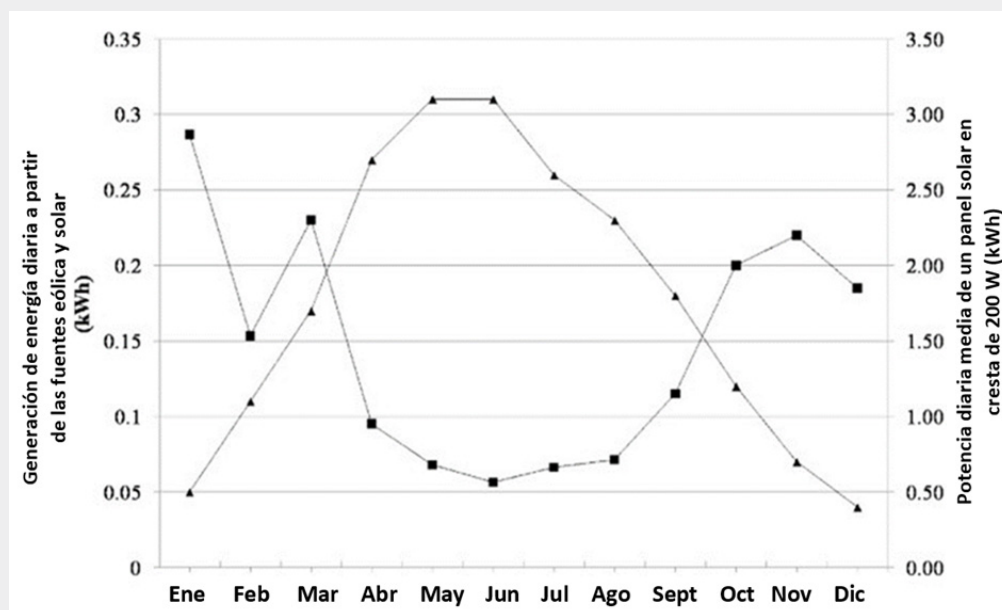
Fuente: <https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-112/figures/4>.

Solución de energía renovable

WindFi es una estación de base de potencia extremadamente baja que, debido a su uso específico del emplazamiento (en la figura), tiene:

- Turbinas eólicas (200 W) y
- Módulos solares fotovoltaicos (80 W) con sistema de trazabilidad
- Las energías solar y eólica son fuentes renovables complementarias en Escocia, como se ilustra en la figura.
- La estación de base está alimentada las 24 horas del día, los 365 días del año.
- Baterías de reserva –funcionamiento continuo– reserva para tres días.
- La "profundidad de descarga" máxima de la batería es del 50%.

Generación de energía diaria a partir de las fuentes eólica y solar



Generación de energía diaria media de un único módulo fotovoltaico de 80 W (▲) y una turbina eólica de 200 W (■) en la Isla de Tiree (Escocia), sobre la base de los datos sobre las previsiones de irradiación solar del sistema de información geográfica fotovoltaica y las mediciones medias de las velocidades del viento realizadas en el aeropuerto de Tiree, en cuyo marco la turbina eólica se utiliza para una estación de base "WindFi".

Fuente: <https://jwcn-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/1687-1499-2012-112/figures/5>.

Dimensionamiento del sistema de energía renovable

Se calcula la carga total de los equipos radioeléctricos, los sistemas de acceso y la gestión. A continuación, el banco de baterías se dimensiona para la carga máxima y un DoD al 50% con tres días en espera. Los paneles solares se dimensionan para atender las cargas máximas teniendo en cuenta los datos de irradiación de la información geográfica fotovoltaica y los datos sobre la velocidad media del viento de un aeropuerto cercano.

5.12 Sistemas energéticos híbridos

Los sistemas energéticos híbridos utilizan tanto la energía renovable como técnicas de generación de electricidad o almacenamiento basadas en combustibles fósiles. Los sistemas de generación de energía distribuida minihíbridos y microhíbridos, sin conexión a la red, pueden proporcionar una electrificación accesible, asequible y fiable a instalaciones y comunidades rurales que están lejos de la red eléctrica principal y tienen pocas probabilidades de conectarse

a ella. Los sistemas energéticos híbridos pueden combinar un sistema de energía renovable (que suele ser la generación de energía fotovoltaica o eólica con sistemas de batería o almacenamiento de energía) y, según proceda, un conjunto de generadores alimentados por diésel u otro combustible fósil. Se suministran otros subsistemas, como los inversores, rectificadores y otros sistemas de gestión del control y de acondicionamiento.

Los sistemas híbridos pequeños de energía renovable son soluciones adecuadas para prestar servicios de electricidad básicos y fiables a instalaciones distantes e instituciones locales como los centros de operaciones de telecomunicaciones y TIC, los centros de salud, las organizaciones comerciales, las pequeñas industrias, los servicios de empresas/oficinas, las agencias gubernamentales y los establecimientos destinados a la organización de talleres y la formación profesional.

Estudio de caso: TELE Greenland

TELE Greenland creó un sistema de energía híbrido controlado por ordenadores para alimentar los emplazamientos de repetidores de radioenlaces de 1,5 kW no tripulados en Groenlandia durante cinco años. Este sistema utilizaba paneles solares con una potencia de salida de 4 800 vatios cada uno, baterías con una capacidad de 4 500 Ah, y un pequeño generador diésel. Incluía un panel de distribución eléctrica y un equipo de supervisión. Las baterías proporcionaban el principal suministro eléctrico a los equipos de telecomunicaciones cargados a partir de células solares. TELE Greenland comunica que se ha realizado un ahorro del 80% en combustible en comparación con el generador diésel que funciona permanentemente, y que los traslados con fines de mantenimiento se han reducido hasta uno al año.

Los principales impulsores de las minirredes híbridas son:

- la necesidad de contar con un acceso fiable y asequible a la electrificación;
- el ahorro de combustible, la dependencia o la supresión de la generación por diésel;
- la reducción de las emisiones de CO₂.

Hay una amplia variedad de aplicaciones y configuraciones para las minirredes híbridas de energía renovable destinadas a los emplazamientos rurales y distantes. Unidas al almacenamiento, pueden atenuar y gestionar la variabilidad de la generación de energía renovable para atender a la demanda de carga a lo largo del día.

Con frecuencia, las minirredes se utilizan para los siguientes fines:

- las instalaciones de servicios públicos como las instalaciones de torres de telecomunicaciones, las estaciones de agua, etc.;
- los servicios comunitarios – hogares, agencias gubernamentales, instituciones educativas, hospitales, etc.;
- las empresas locales y los establecimientos de campus, etc.

Los esquemas microhíbridos que generan menos de 5 kWp pueden utilizarse para atender las necesidades de electrificación de las pequeñas comunidades rurales aldeanas, las estaciones de base de telecomunicaciones distantes (emplazamientos de baja capacidad) y, junto con

generadores diésel, pueden reducir de manera muy eficaz el consumo de combustible y ofrecer una gran fiabilidad.

Los pequeños sistemas híbridos fotovoltaicos distribuidos que funcionan en la gama de 5 a 30 kWp son adecuados para los emplazamientos de repetidores de acceso inalámbrico distantes/rurales y pequeños y las estaciones de base móviles, así como para ofrecer iluminación a las viviendas y los sistemas autónomos de los centros de salud locales, los centros de formación, las empresas familiares pequeñas y otros servicios comunitarios.

Los sistemas híbridos de tamaño mediano que funcionan en la gama de 30 a 100 kWp requieren capacidades de electrificación más avanzadas y son adecuados para comunidades que tengan actividades muy productivas, a fin de alimentar instalaciones de telecomunicaciones más grandes y pequeñas industrias locales.

Los sistemas de energía híbridos pueden tener diversas configuraciones:

- Las soluciones de minirredes/microrredes de paneles solares fotovoltaicos con generador diésel:
 - son adecuadas para las redes que tradicionalmente han dependido de generadores diésel como fuente primaria o con una red eléctrica no fiable, en las que la energía renovable puede implementarse para reducir el uso de combustible, reducir al mínimo los costos de explotación y mantenimiento y reducir también las emisiones de gases de efecto invernadero;
 - cuando no hay un espacio adecuado para construir plantas de sistemas solares a gran escala;
 - para mejorar la fiabilidad y permitir un diseño de red más modular.
- Los sistemas solares fotovoltaicos y turbinas eólicas.
- Los sistemas solares fotovoltaicos, eólicos y generadores diésel.

5.12.1 Minirredes de CA híbridas

Normalmente, un sistema de red híbrido de CA suministrará energía a partir de una fuente de CA directamente a la red, mientras que en el caso de la energía procedente de una fuente de CC renovable, como la solar fotovoltaica, se emplearán inversores para convertir su potencia a fin de alimentar la red de CA. La energía procedente de la red de CA se rectificará para cargar las baterías de reserva o los sistemas de almacenamiento de energía. Cuando la fuente de CA no se encuentra disponible, la potencia de CC se obtendrá de la fuente renovable o de las baterías convirtiendo su potencia de CC en CA para alimentar la carga.

El diseño para atender la demanda máxima debe tener en cuenta que, para los esquemas comunitarios, las cargas máximas pueden fluctuar mucho a lo largo del día. La demanda de carga máxima durante el día procede principalmente del funcionamiento de oficinas, empresas y usuarios comerciales, centros, escuelas e instalaciones sanitarias y otras instituciones, etc. Las cargas durante la noche están dominadas por las demandas residenciales: iluminación, refrigeración, aparatos domésticos y sistemas de entretenimiento.

En las redes híbridas, cuando se utiliza un equipo de generadores diésel, este soportará las cargas máximas, a fin de aumentar la fiabilidad y garantizar que las baterías y sistemas de almacenamiento de energía estén cargados de manera óptima. El sistema híbrido debe

diseñarse para reducir al mínimo los gastos de inversión y optimizar los costos de capital y de explotación del sistema.

En la Figura 23 se ilustra un sistema acoplado a la CA operado desde fuentes de energía solar y eólica con inversores, que incluye un equipo de generadores diésel que alimenta la carga de CA directamente mediante sistemas de estabilización de la corriente. El diseño del sistema garantiza que las baterías estén cargadas de manera óptima para atenuar la demanda y actuar como fuente de reserva en periodos en los que las principales fuentes de energía no se encuentran disponibles.

5.12.2 Sistema de minirredes de CC híbridas

Las redes de telecomunicaciones suelen estar alimentadas por sistemas de CC de 48 voltios con baterías de reserva a fin de mantener altos niveles de fiabilidad y garantizar la disponibilidad durante las 24 horas del día, mientras que los equipos IP están diseñados para funcionar principalmente con CA, ya que necesitan mucha potencia.

La distribución en minirredes de CC puede ofrecer una mayor eficiencia energética y mejorar la sostenibilidad de la alimentación de cargas de CC, sin las ineficiencias que implica la conversión CC-CA-CC de las redes de CA (EMerge Alliance, 2015)³¹, ya que la conversión puede reducir la eficiencia en un 3% o más (Willems y otros, 2013)³². La eficiencia puede mejorarse considerablemente utilizando aparatos alimentados por CC, que son más eficientes y económicos de utilizar, como las bombillas LED de 12 voltios alimentadas directamente por energía fotovoltaica, que permite ahorrar hasta un 30% del consumo de electricidad sin necesidad de utilizar inversores (Graillot, 2013)³³.

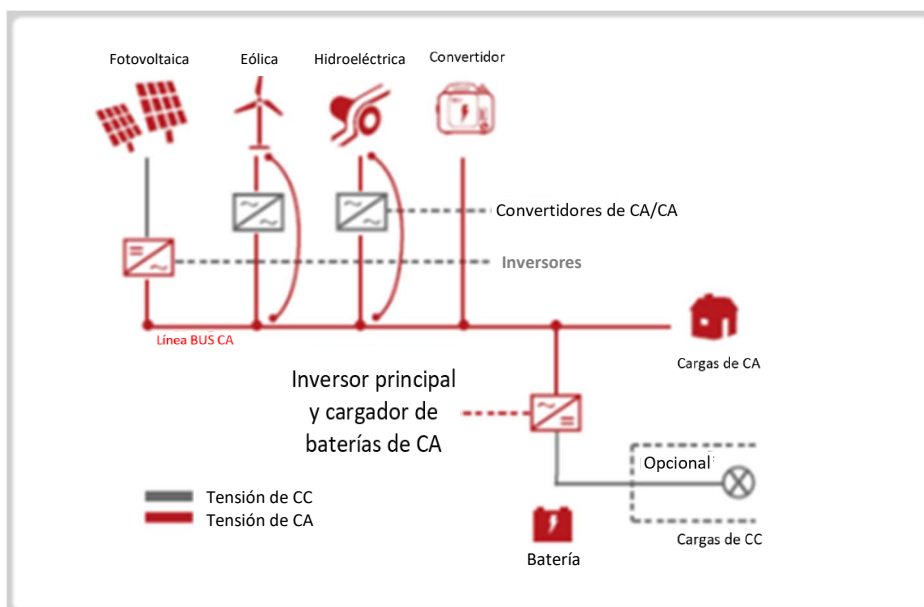
En la Figura 24 se ilustra una minirred híbrida de CC que utiliza la energía solar fotovoltaica, una turbina eólica y un sistema de batería de reserva para alimentar una estación de base de telecomunicaciones distante con solo cargas de CC.

³¹ Comparación de minirredes basadas en CC y CA de Elsevier Image Alliance <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352484719300617?token=1CC673EF309F79143500252E66AA3A5642A79806AB4AD265761B8C9871538F1E3D0802384DFD3C1A8CE766B4EAB4B5A6>.

³² Willems, S., Aerts, W., De Jonge, S., Haeseldonckx, D., van Willigenburg, P., Woudstra, J., Stokman, H., 2013. *Lirias: Sustainable Impact and Standardization of a DC Micro Grid*. Artículo presentado en el Simposio Internacional del Ecodiseño, KU Leuven, isla de Jeju (República de Corea).

³³ IRENA, 2016 - *Innovation Outlook: Renewable mini-grids*.

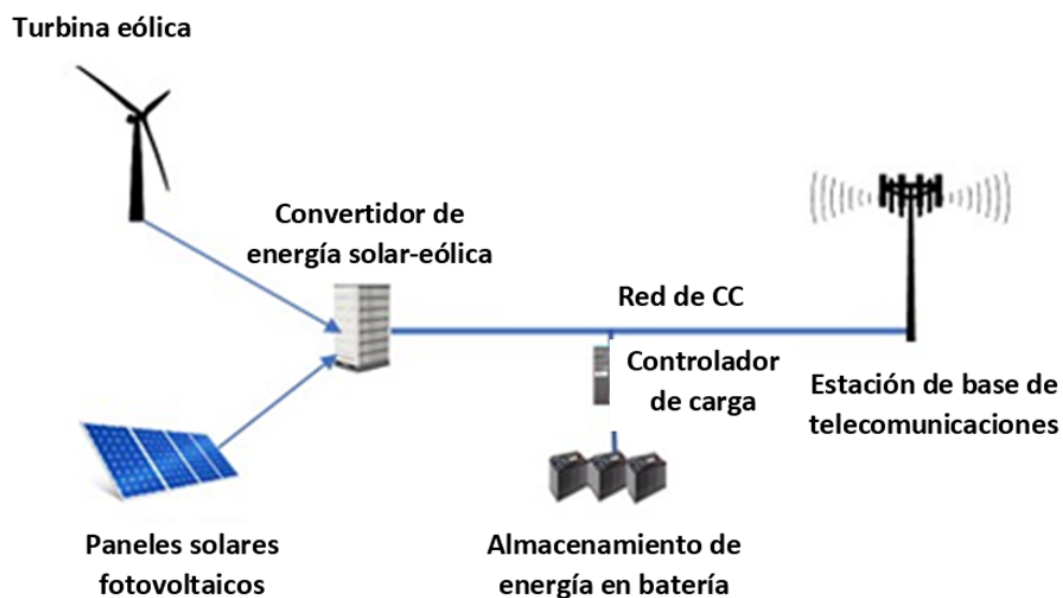
Figura 23: Sistema de alimentación en minired híbrida acoplado a la CA



Fuente: Sistema esquemático de minired de CA con componentes del sistema, adaptado de la Alianza por la Electrificación Rural (ARE) (2011) <https://www.ruralelec.org/sites/default/files/inensus-toolkit-en-21x21-web-ok.pdf>.

Figura 24: Red híbrida de CC – energía eólica y solar fotovoltaica

Centro remoto de telecomunicaciones



5.13 Sistema híbrido de generación de energía solar y diésel

Los paneles solares tienen una vida útil muy larga. Los fabricantes anuncian una vida útil de entre 20 y 25 años, con una potencia que [disminuye hasta aproximadamente un 80% del rendimiento inicial](#) al cabo de dicho periodo. Esta larga duración se debe a que los paneles solares no tienen piezas móviles. Lo único que causa su deterioro son los lentos efectos de degradación de los rayos ultravioletas (UV).

Las minirredes de sistemas solares fotovoltaicos y generadores diésel utilizan baterías u otros sistemas de almacenamiento de energía para equilibrar la energía suministrada a la carga a lo largo del día y garantizar que se satisfagan las demandas de carga máxima, a la vez que se reduce el periodo de funcionamiento con diésel y el uso de combustible.

El sistema solar fotovoltaico debe diseñarse para satisfacer las cargas máximas del día; el exceso de energía se puede utilizar para cargar las baterías de reserva. Las baterías deben dimensionarse para proporcionar energía de reserva en los casos más desfavorables en los que todas las principales fuentes de energía se encuentran indisponibles. Esta situación podría darse durante unos pocos días en el peor de los casos, por ejemplo, cuando no haya luz directa del sol durante un periodo prolongado.

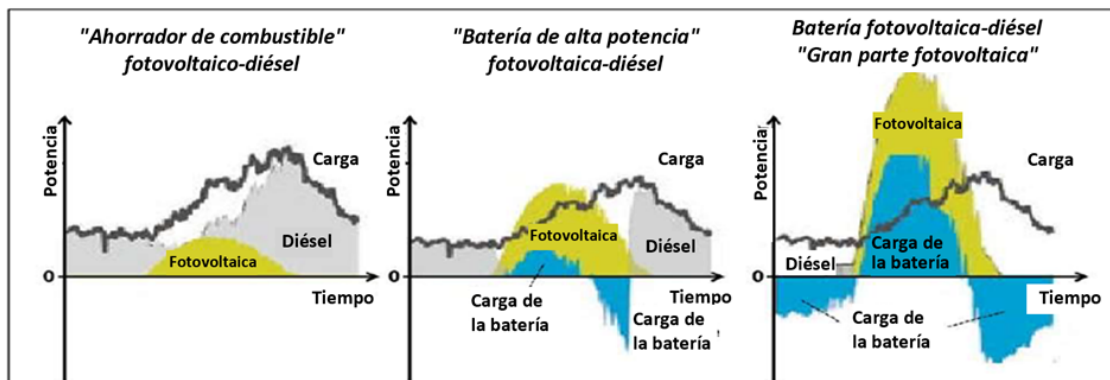
Por otro lado, los generadores diésel tienen un costo de funcionamiento constante debido a la necesidad de combustible, limpieza y cambios de filtros. No obstante, los generadores diésel son baratos como solución inicial, y su costo neto aumenta lentamente a lo largo del tiempo. Los [generadores diésel también son poco fiables](#) y requieren con frecuencia reformas costosas para seguir funcionando. Por este motivo, se ha determinado en muchos estudios que los generadores solares son una opción más barata a largo plazo³⁴.

A pesar de ello, los generadores diésel siguen siendo una [opción popular para la generación de electricidad](#), dado que el costo de adquisición de los sistemas solares fotovoltaicos es más de cinco veces mayor que el de un equipo de generadores diésel. Las comunidades que tienen un acceso limitado al capital tal vez no tengan los recursos necesarios para afrontar los grandes costes iniciales de los sistemas solares sin financiación. Sin embargo, el costo de los sistemas solares fotovoltaicos a lo largo de toda la vida será inferior debido al costo del combustible, el transporte y el mantenimiento periódico de los generadores diésel.

A fin de dimensionar el sistema, se deben determinar el factor de carga del generador diésel y el ciclo de la batería, ya que estos valores tendrán efectos importantes en el costo del sistema durante todo el ciclo de vida (AIE, 2013). En la Figura 25 se ilustra un perfil de carga diaria habitual y el funcionamiento del sistema de generadores diésel y solar fotovoltaico.

³⁴ Solar Electric Light Fund; Universidad Gadjah Mada; Universidad Abubakar Tafawa Balewa; Universidad Arba Minch; e Instituto Indio de Tecnología.

Figura 25: Ilustración de diferentes modos de funcionamiento de los sistemas híbridos



Fuente: La Iniciativa Alemana sobre Tecnología del Clima (GIZ), *Promotion of Solar-Hybrid Mini-Grids*, agosto de 2016.

5.14 Sistema de energía solar fotovoltaica y generadores diésel

Situación: no hay suministro de la red eléctrica en el emplazamiento de Pakistán, anteriormente solo se suministraba energía por diésel.

Solución propuesta: sistema híbrido solar fotovoltaico y de generadores diésel, con banco de baterías de iones de litio.

Resultado:

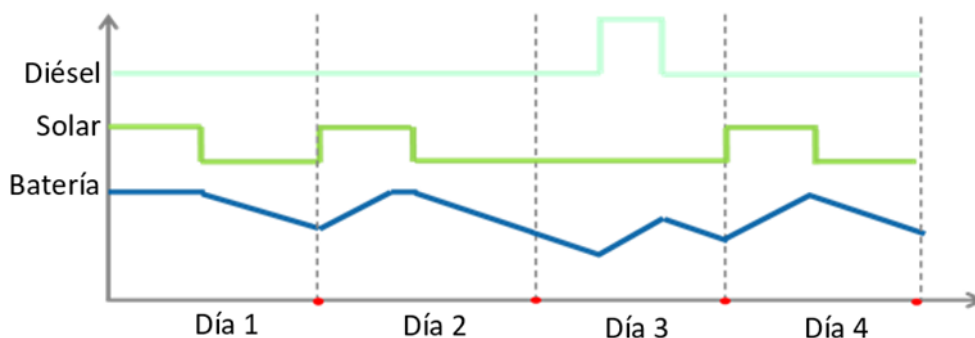
- El generador diésel funciona durante menos de dos horas al día por término medio.
- Los sistemas generaron un 12% más de energía que una solución exclusivamente basada en el diésel.
- Se logró reducir el consumo de combustible un 80%.



Fuente: Huawei

Los ciclos de carga y descarga se muestran en el gráfico que figura a continuación.

Lógica de programación de múltiples fuentes de energía



La tecnología de IA se utiliza para controlar el generador diésel. Como se ilustra más abajo, el generador diésel se enciende cuando el voltaje de la batería llega al umbral mínimo de descarga. En una situación normal sin IA, el generador diésel se apaga solo cuando la energía del panel solar fotovoltaico alcanza el 12,4% de la potencia máxima.

Gracias al control de la IA, los sistemas predicen las horas de la salida del sol del día siguiente, es decir, el momento en que la irradiación solar será suficiente para cargar las baterías, a fin de apagar el generador diésel con anterioridad. El nivel de carga de la batería se supervisa y la tecnología de IA se utiliza para predecir en qué momento y a qué nivel de voltaje de la batería estará disponible la fuente solar fotovoltaica, a fin de recargar la batería lo suficiente durante el día.



Estudio de caso de Huawei

La solución rural de Huawei para la energía renovable con minirredes híbridas –
Reducir los costos operativos del operador móvil Ufone en Pakistán

Ufone forma parte del grupo de empresas Etisalat y es el cuarto operador de telecomunicaciones móviles más grande de Pakistán, con una participación de mercado del 14% y 22 millones de suscripciones. Ufone opera miles de estaciones de base móviles, algunas de ellas ubicadas en zonas urbanas que están alimentadas por la red eléctrica principal y otras que funcionan sin conexión a la red en zonas rurales distantes. Ufone ha instalado generadores diésel en más de 8 000 emplazamientos para proporcionar energía de manera estable y en reserva para sus estaciones de base en zonas con un suministro inestable de la red eléctrica. Debido a los prolongados cortes de electricidad, los generadores diésel tenían que funcionar durante varias horas a la vez. Los cortes de electricidad duraban por término medio entre 6 y 10 horas en las ciudades, y entre 8 y 20 horas en algunas ciudades y aldeas rurales.

La competencia en el mercado móvil de Pakistán ha hecho que los operadores reciban unos ingresos medios por usuario muy bajos, de 2,50 dólares, por lo que Ufone examinó los costos de la red y buscó soluciones para reducir los costos operativos y de capital. Se determinó que los elevados gastos de explotación y mantenimiento, en particular la alimentación de los generadores diésel, en zonas con un suministro de la red poco fiable, eran una importante preocupación y un objetivo para la reducción de costes.

Huawei propuso e implementó cuatro modelos de soluciones de energía híbrida para Ufone, basados en diversas combinaciones de sistemas solares fotovoltaicos, bancos de baterías de almacenamiento y generadores diésel (proporcionados como reserva). La reducción al mínimo del funcionamiento de los generadores diésel o su supresión reduciría completamente la contaminación ambiental.

Modelo 1. Emplazamientos con cortes de entre seis y ocho horas

Propuesta de Huawei:

- supresión del generador diésel; e
- instalación de baterías de carga rápida (carga completa en tres a cuatro horas).

Esto era una solución adecuada, ya que ya no era necesario utilizar el generador diésel y el anterior banco de baterías de plomo-ácido.

Modelo 2. Emplazamientos con cortes de entre 10 y 16 horas

Huawei propuso equipos diésel y una solución híbrida de

- baterías de litio con una función de carga rápida en una hora, mayor capacidad y un ciclo de vida útil más largo (100 Ah, vida útil de 3 500 ciclos);
- baterías de carga rápida como reserva, que ofrecen una carga rápida en dos a tres horas en modo en espera. (100 Ah, vida útil de 2 000 ciclos).

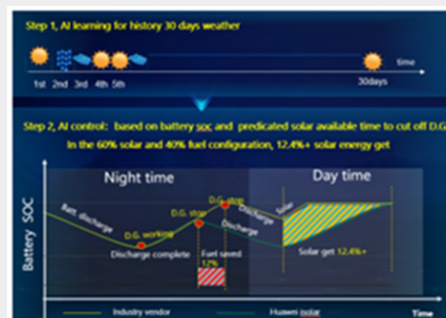


Modelo 3. Emplazamientos con cortes de entre 16 y 20 horas

Huawei propuso eliminar los generadores diésel e instalar una solución híbrida:

- Instalar un sistema solar fotovoltaico.
- Baterías de litio con carga rápida de dos horas.

Esta solución fue adecuada y no requirió alimentación de energía alguna procedente de fuentes alternativas.



Modelo 4. Emplazamientos autónomos sin acceso a la red

Huawei propuso implementar una solución híbrida de energía solar, generadores, baterías y gestión por IA:

- instalar un sistema solar fotovoltaico;
- baterías de litio con carga rápida de dos horas;
- generador diésel en reserva.

Con esta solución se redujo en un 80% el funcionamiento del generador diésel y la utilización de combustible, ya que el sistema solar generaba suficiente energía para hacer funcionar los equipos de comunicación y cargar completamente las baterías de litio. La tecnología de IA se utilizó para predecir el periodo óptimo de funcionamiento del generador y controlar su funcionamiento.

5.15 Soluciones de almacenamiento

El almacenamiento proporciona o absorbe energía para equilibrar la oferta y la demanda y hacer frente a las fluctuaciones de las cargas del cliente y la generación de energía³⁵.

Debido a la rápida reducción de los costos de las tecnologías solar y eólica y al aumento de los volúmenes de producción, los sistemas de energía renovable son cada vez más comunes en la mayoría de las aplicaciones sin conexión a la red. El almacenamiento de electricidad se está convirtiendo en una parte fundamental de las soluciones sin conexión a la red, que afecta directamente a las iniciativas de descarbonización en estos segmentos clave de utilización de energía que dependen actualmente mucho del combustible diésel.

Se estima que las mejoras relativas a la tecnología de las baterías podrían triplicar la capacidad de almacenamiento de electricidad para 2030. Se prevé que los costos de las tecnologías de almacenamiento de las baterías disminuyan hasta un 66%³⁶. Dado que el precio de las tecnologías de almacenamiento de la electricidad sigue disminuyendo y que estas son cada vez más asequibles, la parte de las energías renovables utilizadas en las minirredes seguirá aumentando y se obtendrán beneficios técnicos, económicos y sociales cada vez más diversos (IRENA, 2016).

³⁵ SE4All, la oportunidad de gran impacto de las minirredes de energía limpia. *Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access*, https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jan/IRENA_Off-grid_RE_Access_2019.pdf.

³⁶ <https://www.powerselectronics.com/alternative-energy/6-promising-energy-storage-options-tie-grid>.

5.15.1 Baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido han sido la tecnología de almacenamiento de energía que más se ha utilizado durante décadas como solución de reserva para los generadores diésel, alimentando las instalaciones de telecomunicaciones conectadas y no conectadas a la red de zonas urbanas y rurales de todo el mundo. Dos tipos de baterías de plomo-ácido principales son las baterías húmedas (baterías inundadas no selladas) y las baterías de plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA) que utilizan bancos de baterías herméticas de gel o fibra de vidrio absorbente (AGM). Las baterías herméticas de gel se prefieren para las aplicaciones que requieren una descarga lenta o que funcionan a altas temperaturas ambiente, mientras que las baterías AGM tienen mejores índices de carga.

Las baterías de plomo-ácido son una tecnología recargable poco costosa y muy generalizada. Son adecuadas para una amplia gama de aplicaciones; sin embargo, tienen una baja densidad de energía, ciclos de vida muy cortos y una escasa profundidad de carga. Su gama de temperatura de funcionamiento óptima también es bastante limitada.

Las baterías inundadas requieren un sistema de gestión térmica y un mantenimiento periódico para la sustitución del agua. Las baterías VRLA, por otro lado, se diseñan con válvulas autorreguladoras que previenen la pérdida de electrolitos y, aunque son más caras que las baterías inundadas, tienen ciclos de vida mucho más largos y pueden funcionar sin mantenimiento durante diez años.

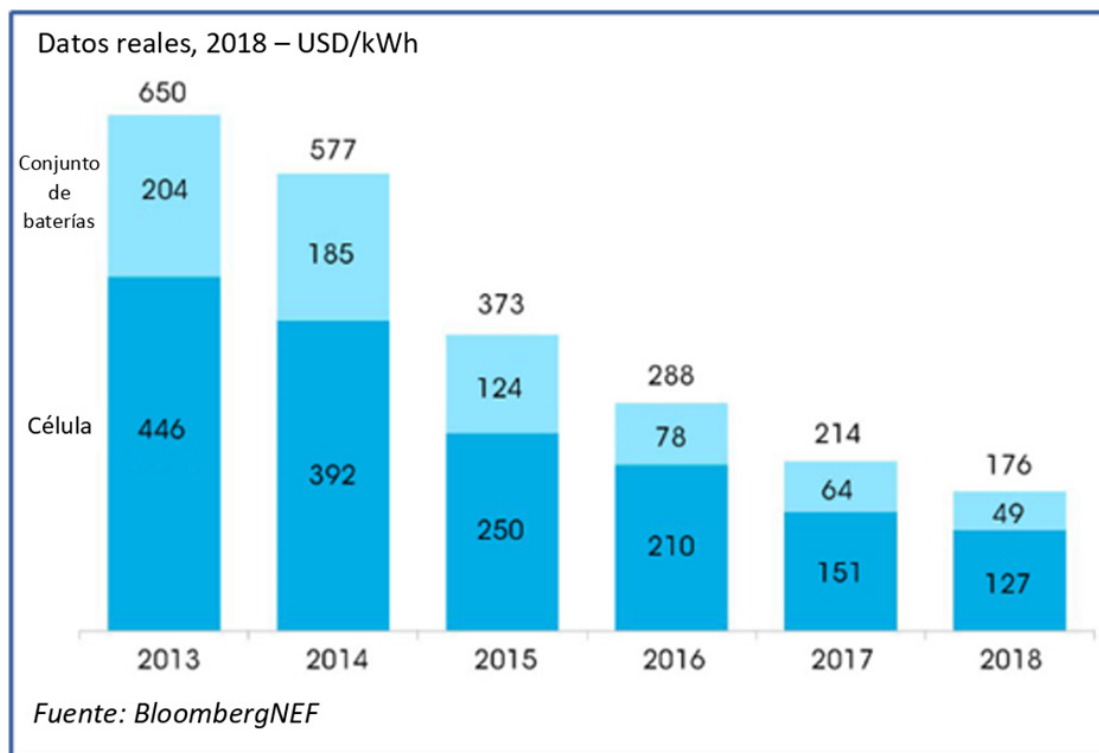
Si las baterías de plomo-ácido se descargan hasta por debajo del 50% de la profundidad de descarga, su vida útil se reducirá, mientras que las baterías de litio pueden descargarse hasta un 80% sin sufrir daños importantes a largo plazo.

5.15.2 Baterías de litio

Las baterías de iones de litio han experimentado el crecimiento y la caída de costes más rápidos en los últimos años, impulsados principalmente por el desarrollo de los vehículos eléctricos. Se utilizan principalmente en dispositivos móviles y portátiles y en la electrónica de consumo debido a su densidad de energía superior. En el informe sobre el estudio de las nuevas energías de Bloomberg (véase la Figura 26) se indicó que el precio medio de un conjunto de baterías de iones de litio disminuyó un 85% entre 2010 y 2018 y que seguirá disminuyendo durante las próximas décadas, debido al aumento de los volúmenes en la industria principal y con el impulso de la industria del transporte y la investigación y desarrollo. La IRENA prevé que el costo de instalación de las baterías de iones de litio disminuirá considerablemente un 54% en 2016 y hasta un 64% para 2030 para las aplicaciones estacionarias³⁷.

³⁷ IRENA. Costos de almacenamiento de la electricidad, 2017.

Figura 26: Estudio sobre el precio de las baterías de iones de litio: división entre el conjunto de baterías y la célula



Las baterías de litio son la solución de almacenamiento de batería más generalizada, utilizada en más del 90% del mercado mundial del almacenamiento por baterías en la red³⁸. Su capacidad de almacenar energía de manera económica durante el día cuando la energía solar es abundante y más barata, y liberarla a continuación por la noche cuando aumenta la demanda residencial fomentará un aumento de la generación de energía solar. De manera análoga, la energía eólica generada en exceso y a bajo coste por la noche a partir de parques eólicos puede almacenarse y liberarse durante el día para satisfacer la demanda máxima.

En comparación con las baterías de plomo-ácido, las baterías de litio ofrecen las ventajas que se enumeran a continuación³⁹.

- Alta densidad de energía, bajo peso (las nuevas innovaciones incluyen la sustitución del grafito por silicona).
- Pueden tolerar mayores niveles de profundidad de descarga sin sufrir daños importantes, a diferencia de las baterías de plomo-ácido.
- Costos de ciclo de vida más bajos con una vida útil considerablemente más larga; el número de ciclos de carga que pueden soportar es aproximadamente seis veces mayor que el de las baterías de plomo-ácido (en particular las baterías de iones de litio de fosfato).
- Se pueden cargar con gran rapidez (las baterías de litio-ferrofosfato pueden cargarse completamente en 30 minutos) y solo pierden una fracción de carga cuando se dejan inactivas durante un periodo de tiempo prolongado.

³⁸ Environmental and Energy Study Institute, *Fact Sheet: Energy Storage (2019)* <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>.

³⁹ *Lithium-ion Batteries* - <https://www.usaid.gov/energy/mini-grids/emerging-tech/storage>.

- No requieren mantenimiento y no necesitan ser almacenadas en vertical ni en compartimentos ventilados.
- Ofrecen una eficiencia mejorada.
- Los precios de las baterías de litio han disminuido durante los últimos años y son cada vez más interesantes para las instalaciones energéticas no conectadas a la red.

5.15.3 Baterías de flujo

Las baterías de flujo se distinguen de las baterías recargables convencionales en el hecho de que no todos sus materiales electroactivos están almacenados en la célula que rodea a los electrodos sino que están disueltos en soluciones de electrolitos que se almacenan en depósitos independientes para los lados del ánodo y el cátodo.

Las baterías de flujo tienen una densidad de energía más baja que las baterías de iones de litio, pero sus características de energía y potencia pueden adaptarse independientemente.

5.15.4 Baterías inerciales

Cuando debe almacenarse el excedente de energía, las baterías inerciales lo pueden almacenar en forma de energía cinética rotacional acelerando una masa giratoria en un lugar cerrado libre de rozamientos. Cuando se necesita energía, la energía cinética se devuelve en forma de energía eléctrica desacelerando la velocidad del rotor de la batería inercial.

Las baterías inerciales son adecuadas para periodos de descarga más cortos (de unos pocos segundos a varias horas) y se utilizan para la gestión de energía, por ejemplo, para mejorar la estabilidad de la red. Con frecuencia, se utilizan para regular y mejorar la calidad de la energía. Las baterías inerciales se utilizan para atenuar la energía producida por los parques eólicos. Son capaces de liberar grandes cantidades de energía en un periodo muy breve de unos pocos segundos.

Aunque su instalación es muy costosa, las baterías inerciales tienen un alto potencial energético y pueden lograr un DoD del 100% para más de 150 000 ciclos sin deteriorarse con el tiempo. También tienen pérdidas de reserva relativamente importantes, debido a niveles de descarga muy altos de hasta un 15% por hora, por lo que son adecuadas para el almacenamiento a corto plazo.

5.15.5 Baterías de estado sólido

Las baterías de estado sólido se han beneficiado de una importante labor de investigación durante los últimos años. Se están desarrollando baterías que tienen un cátodo y un ánodo sólidos con un electrolito sólido entre ellos en lugar de un líquido. Por consiguiente, son más duraderas y su utilización es extremadamente segura. Las baterías de estado sólido tienen también mayores densidades de energía que las baterías estándar de iones de litio. Sin embargo, son muy costosas y no suelen estar disponibles a la venta.

5.15.6 Supercondensadores

Los supercondensadores son otra tecnología emergente para los sistemas de almacenamiento de energía que pueden ofrecer una mayor densidad de potencia que las baterías tradicionales y una mayor densidad de energía que los condensadores tradicionales. Los supercondensadores se están convirtiendo en una interesante solución energética para un número cada vez mayor de aplicaciones. Un supercondensador se construye como un condensador de doble capa con una capacitancia muy elevada pero bajos límites de tensión, que almacena más energía que los condensadores electrolíticos. La energía eléctrica se almacena en una interfaz de electrodo-electrolito que consta de dos placas metálicas, cubiertas de un material poroso de carbón activo que presenta una mayor superficie para almacenar mucha más carga. Las placas están sumergidas en un electrolito.

Los supercondensadores ofrecen las ventajas de una alta densidad de potencia y una gran capacidad de gestionar elevadas corrientes de carga. Tienen una buena eficiencia y largos periodos de vida útil con cientos de miles de ciclos y un amplio rango de temperaturas.

Los supercondensadores son ideales para las aplicaciones que necesitan muchos ciclos rápidos de carga/descarga y pueden cargarse en tan solo unos segundos. Son ideales para atender las necesidades de potencia a corto plazo, como para garantizar la estabilidad de la red (estabilidad de tensión y de frecuencia). También se utilizan para la electrónica de consumo, los sistemas de alimentación ininterrumpida de las turbinas eólicas y en dispositivos utilizados en las redes de distribución, etc.

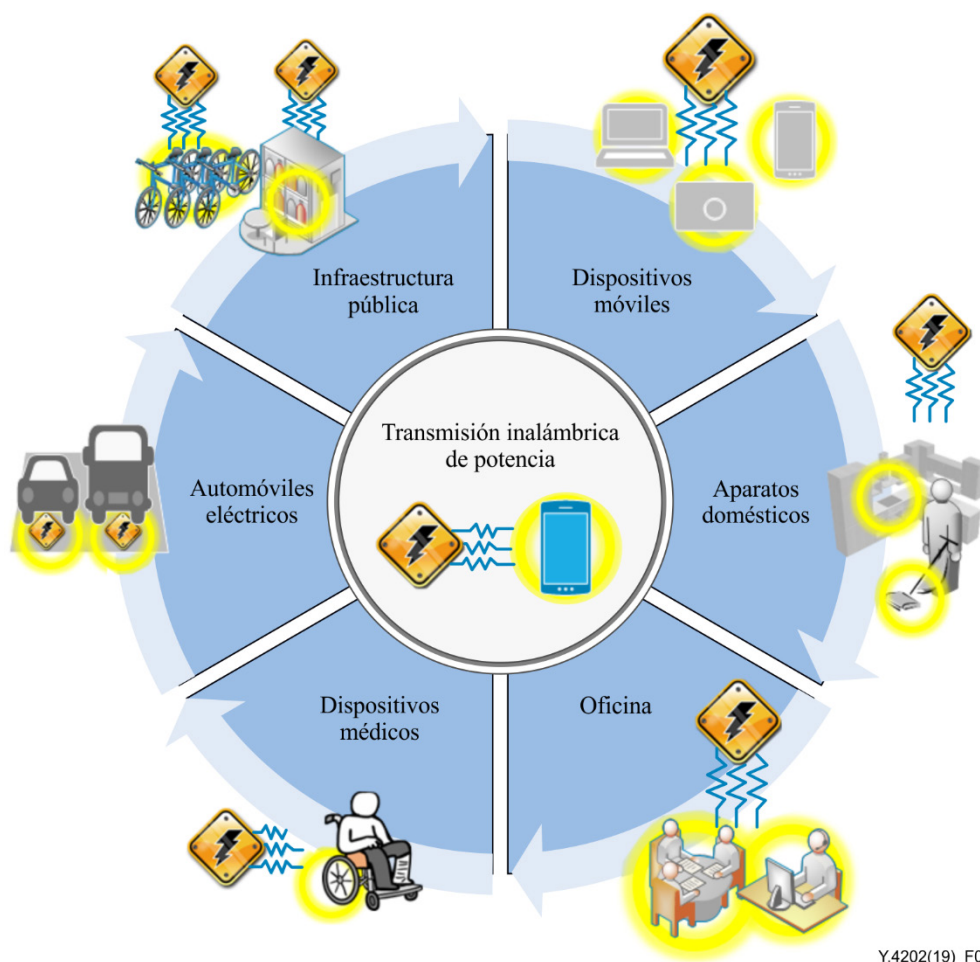
Un inconveniente importante es su baja densidad de energía. Por consiguiente, no son adecuados para ser utilizados como fuente continua de almacenamiento.

5.16 Transmisión inalámbrica de potencia

La tecnología de transmisión (o transferencia) inalámbrica de potencia (TIP) se considera revolucionaria, ya que ofrece la promesa de suministrar energía eléctrica incluso en los escenarios más difíciles. La transmisión de potencia por ondas radioeléctricas se remonta a los primeros trabajos de Nikola Tesla en 1899. Tesla hizo su primer intento de transmitir energía sin cables en 1899. Para ello utilizó energía de baja frecuencia a 150 kHz, pero no tuvo éxito. En 2014 se publicó en el Informe UIT-R SM.2303 información sobre la TIP con tecnologías distintas de los haces radioeléctricos como respuesta parcial a la Cuestión UIT-R 210-3/1, que fue actualizado en varias ocasiones hasta 2021. A raíz de una presentación realizada en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), se están estudiando varias tecnologías de TIP prometedoras, en particular la inducción magnética, el acoplamiento resonante, la transmisión por haces radioeléctricos, etc. En el mencionado Informe del UIT-R se puede encontrar más información al respecto.

En el UIT-R se están realizando detenidamente estudios sobre el impacto entre los sistemas de TIP y los servicios de radiocomunicaciones, y ya se han aprobado algunas Recomendaciones sobre el tema (véase <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM/es>). Asimismo, se están realizando otros estudios sobre los aspectos relacionados con la seguridad, como la exposición de las personas a los campos electromagnéticos.

Figura 27: Escenario típico de transmisión inalámbrica de potencia



Y.4202(19)_F01

5.16.1 Acceso a la energía mediante la transmisión inalámbrica de potencia por haces radioeléctricos

Las tecnologías de carga inalámbrica han travesado un proceso de evolución constante y, actualmente, permiten la transmisión radiada de potencia con independencia de la distancia (TIP por haces). La tecnología de TIP por haces puede aportar mejoras notables a ciertas aplicaciones en comparación con la TIP sin haces, que utiliza tecnologías de inducción, resonancia y acoplamiento capacitivo.

La tecnología de TIP por haces puede diseñarse e implementarse en dispositivos electrónicos de diferentes tamaños para el hogar y la oficina, así como para los sectores médico, industrial, minorista y de la automoción, y garantiza la interoperabilidad entre productos. Entre estos dispositivos figuran tecnologías ponibles, audífonos, auriculares, auriculares Bluetooth, dispositivos de Internet de las cosas, teléfonos inteligentes, tabletas, lectores de libros electrónicos, teclados, ratones, mandos a distancia, luces recargables, baterías cilíndricas, dispositivos médicos y cualesquiera otros dispositivos con requisitos de carga similares que, de otro modo, necesitarían una batería o una conexión a una toma de corriente.

Los transmisores de TIP por haces utilizan un espectro de banda estrecha, normalmente de 400 kHz o menos, para transmitir energía de radiofrecuencias a un dispositivo cliente. El transmisor permanece inactivo hasta que un dispositivo cliente autorizado se identifica,

autentifica y detecta a una distancia cero de la estación de carga por TIP. Las tecnologías hertzianas de TIP por haces funcionan en un espectro similar y se basan en conjuntos de antenas y técnicas de focalización de haces para transmitir energía de radiofrecuencias a las ubicaciones precisas de los dispositivos cliente. Dado que, en el marco de los sistemas de carga inalámbrica, parte de las transmisiones de TIP por haces se dirigen a dispositivos cliente, no deben considerarse radiadores isotrópicos; centran su energía en ubicaciones específicas y transmiten solo cuando detectan un cliente autorizado.

Figura 28: Imagen de TIP punto a punto



Figura 29: Experimento de transmisión de potencia punto a punto de una milla con una antena parabólica de 26 m y un klistrón de 450 kW, 2,388 GHz como transmisor y una matriz de rectenas de 3,4 × 7,2 m como receptor



En un sistema de TIP por ondas radioeléctricas se utilizan antenas para transmitir y recibir las ondas. Las antenas transmisora y receptora no tienen acoplamiento electromagnético. Por lo tanto, algunos transmisores y receptores no tienen que ajustarse a los parámetros de circuito de los transmisores y receptores. El principio de la TIP por haces de ondas radioeléctricas se basa en la fórmula de transmisión de Friis. A diferencia de lo que ocurre en los sistemas de comunicación inalámbrica, no es necesario modular la onda radioeléctrica que transmite inalámbricamente la potencia.

Algunas empresas de los Estados Unidos han desarrollado tecnologías de TIP por haces para casos de uso que requieren transmitir a distancia. En 2020 se hizo una demostración de un sistema de etiquetado digital para minoristas, que no necesitaba cables ni baterías. Dicho sistema funciona a 2,4 y 5,8 GHz, tiene un alcance de aproximadamente diez metros y es capaz también de alimentar teléfonos inteligentes, dispositivos domésticos inteligentes compatibles, sensores de automóviles y muchos otros dispositivos. Se han desarrollado otras tecnologías que funcionan a diferentes frecuencias. No obstante, a día de hoy, la FCC no ha autorizado el funcionamiento de las tecnologías de TIP por haces a distancias tan amplias en espacios públicos en los Estados Unidos. Otra empresa utiliza la banda designada para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM) (en el rango de ondas milimétricas).

En el Informe UIT-R SM.2392, actualizado hasta 2021, puede consultarse más información sobre las aplicaciones que utilizan la TIP por haces radioeléctricos.

5.16.2 Acceso a la energía mediante la transmisión inalámbrica de potencia con otras tecnologías

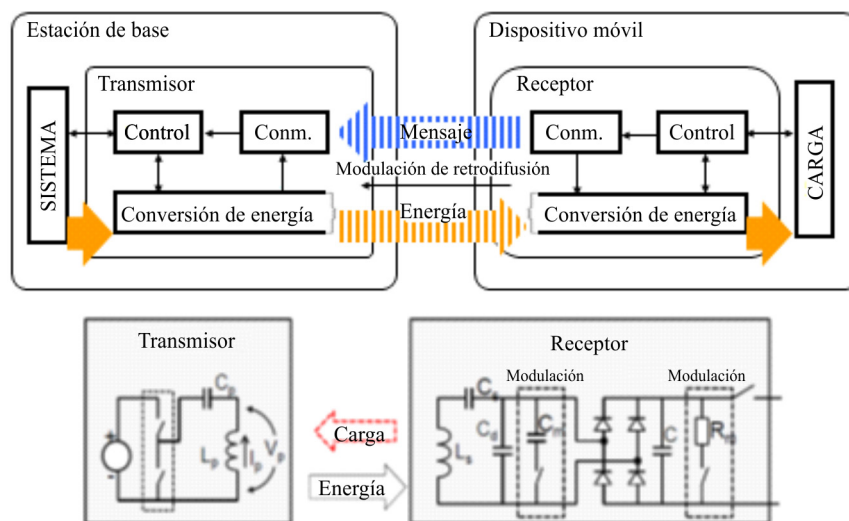
Las tecnologías señaladas a continuación también se describen en el Informe UIT-R SM.2303.

Tecnología TIP de inducción magnética

La TIP de inducción magnética es una tecnología muy conocida que utiliza el mismo principio subyacente de los transformadores convencionales, en los que las bobinas primaria y secundaria están acopladas por inducción, con un núcleo permeable magnético compartido para mejorar el acoplamiento. La transmisión de potencia por inducción por el espacio mediante bobinas primaria y secundaria físicamente separadas es una tecnología conocida desde hace más de un siglo. Se denomina también TIP de alto grado de acoplamiento. Una característica de esta tecnología es que la eficiencia de la transmisión de potencia cae si la cámara de aire es superior al diámetro de la bobina y si las bobinas no están alineadas entre ellas. La eficiencia de la transmisión de potencia depende del factor de acoplamiento (k) entre los inductores y de su calidad (Q). Esta tecnología puede lograr una mayor eficiencia que el método de resonancia magnética. Se ha comercializado para cargar teléfonos inteligentes. Mediante un conjunto de bobinas, también ofrece flexibilidad en la ubicación de la bobina receptora del transmisor.

Los dispositivos portátiles y los dispositivos móviles son, con diferencia, el mayor número de dispositivos TIP utilizados en la actualidad. Una encuesta de IHS a los consumidores indica que el 35% de los consumidores en Estados Unidos utiliza la carga inalámbrica para sus dispositivos móviles (principalmente teléfonos inteligentes). El sitio web del Wireless Power Consortium indica que, a mediados de 2017, se utilizaban unos 150 millones de transmisores de TIP para cargar teléfonos inteligentes.

Figura 30: Diagrama de bloques de un sistema de TIP de inducción magnética convencional



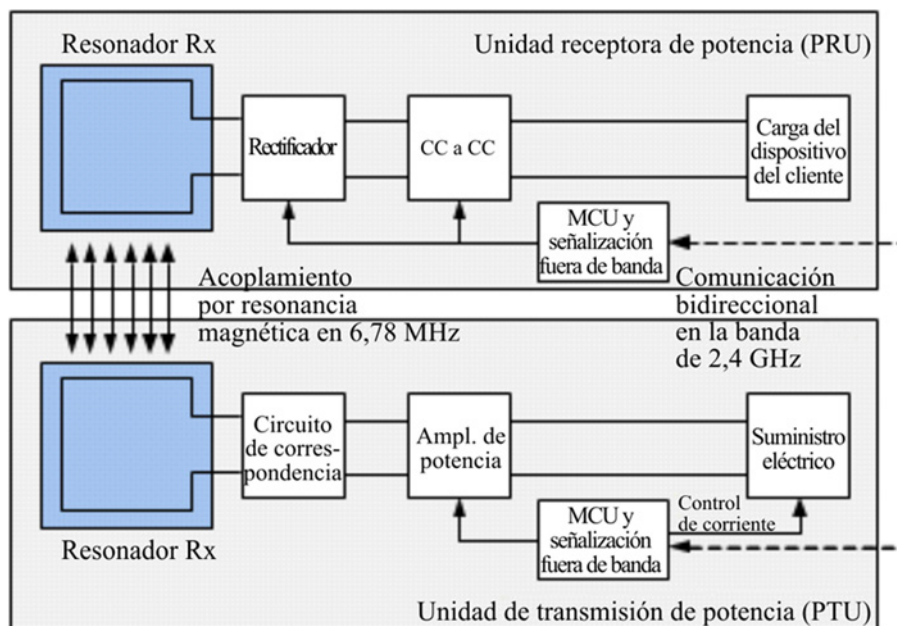
Informe SM.2303-02

Tecnología TIP de resonancia magnética

La TIP de resonancia magnética también se conoce como TIP con bajo grado de acoplamiento. La base teórica de este método de resonancia magnética lo desarrolló en primer lugar el MIT en 2005 y se validó experimentalmente en 2007. El método utiliza una bobina y un condensador como resonador, transmitiendo energía eléctrica mediante la resonancia magnética entre la bobina transmisora y la bobina receptora (acoplamiento magnético). Ajustando las frecuencias de resonancia de ambas bobinas con un factor Q elevado, se puede transmitir potencia eléctrica a una distancia grande donde el acoplamiento entre las bobinas es bajo. Un sistema de TIP de acoplamiento magnético puede transmitir energía eléctrica en una distancia de hasta varios metros.

Esta tecnología también ofrece flexibilidad en la ubicación de la bobina receptora respecto de la bobina de transmisión. En el Informe UIT-R SM.2303 puede consultarse información técnica de utilidad al respecto.

Figura 31: Diagrama de bloques de un sistema de TIP de resonancia magnética convencional



Informe SM.2303-03

La estación de base TIP puede realizar la carga TIP solo para los dispositivos TIP identificados, y bloquea los dispositivos no identificados. Este entorno puede ser una oficina o un hogar, con dispositivos inscritos, como se muestra en la Figura 32.

Figura 32: Ejemplo de dispositivos TIP fijos



Y.4202(19)_Fl.1

Si un usuario quiere instalar nuevos dispositivos TIP en su hogar u oficina, dichos dispositivos deberán inscribirse en la estación de base TIP. La estación de base TIP conservará la información relacionada con los nuevos dispositivos, como la identificación de cada uno de ellos y el tipo de carga TIP.

6 Mecanismos financieros para las inversiones en energías renovables

Los países menos adelantados (PMA), que acogen al 13% de la población mundial pero representan tan solo el 2% del producto interno bruto (PIB) del mundo, se enfrentan a varios impedimentos estructurales para alcanzar los ODS (Oficina del Alto Representante para los países menos adelantados, los países en desarrollo sin litoral y los pequeños Estados insulares en desarrollo (OARPPP), 2017). Con un acceso medio a la electricidad del 44,8% y un índice de electrificación global del 87,4% en 2016, los PMA están muy lejos de lograr el acceso universal a la energía moderna para 2030. La ampliación del acceso a las zonas rurales se ha visto obstaculizado por los elevados costos de implementación y los altos gastos de conexión y operativos, unidos a la falta de inversiones (OARPPP, 2017).

En los PMA, el acceso a la electricidad tiende a ser mucho mayor en las zonas urbanas que en las rurales. En 2016, el 75% de la población urbana tenía acceso a la electricidad, en comparación con el 31% de la población rural; sin embargo, el acceso solo se está ampliando de manera ligeramente más rápida en zonas rurales desde una base muy baja. Debido a las importantes inversiones iniciales que requieren los proyectos de minirredes, las tarifas suelen ser superiores a las de la red (a menos que haya subvenciones importantes para las minirredes), por lo que las empresas y hogares rurales quizás no podrían costárselas.

La situación relativa al acceso a la energía en los PMA difiere también en función de las regiones. En 2016, los PMA de Asia-Pacífico habían alcanzado un índice de electrificación medio del 73,6%, mientras que ese índice en los PMA de África era muy inferior, del 30%⁴⁰.

6.1 Financiación de la infraestructura rural de energías renovables

La financiación de minirredes ecológicas en zonas rurales de los países en desarrollo ha sido, a lo largo de los años, un gran desafío para los promotores privados. Esto se debe principalmente a los altos costos de las tecnologías de energías ecológicas y al desafío que suponen para la rentabilidad de dichos proyectos. Si bien estos costos han disminuido considerablemente en los últimos diez años, los bajos niveles de ingresos de las zonas rurales del tercer mundo hacen que las tecnologías de energías limpias sigan siendo en gran medida inaccesibles en dichas partes del mundo.

En 2013, se estimó que las necesidades totales de infraestructura energética en África ascendían a 63 000 millones de dólares. Ese mismo año solo se cubrió el 12% de dichas necesidades de financiación, y el 50% de esos fondos procedieron de fuentes nacionales (de los gobiernos respectivos) y el resto de fuentes externas⁴¹. En general, los países africanos tienen un bajo ratio de impuestos/PIB y, por consiguiente, carecen de los ingresos necesarios para financiar adecuadamente el desarrollo de sus infraestructuras energéticas locales.

⁴⁰ Naciones Unidas, Acceso a la energía y principales desafíos en los PMA, <https://www.un.org/ldcportal/energy-access-and-main-challenges-in-the-ldcs/>.

⁴¹ Sy, Amadou and Copley, Amy (2017), *Closing the Financing Gap for African Energy Infrastructure: Trends, Challenges, and Opportunities*. Policy Brief, Africa Growth Initiative, The Brookings Institution, Washington DC, https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2017/04/global_20170417_africa-energy-infrastructure.pdf#page=10&zoom=auto-99,92.

Uno de los métodos recomendados para impulsar los ingresos nacionales en estos países es la reducción del gasto del gobierno en partidas como el pago de subvenciones para combustibles hidrocarburos. Esta estrategia de ahorro de costes, junto a otras, puede dar margen financiero a los gobiernos para ofrecer incentivos fiscales y otros incentivos financieros a promotores privados de soluciones ecológicas de minirredes. Estos incentivos son útiles, pero crean un nuevo reto para los inversores: la incertidumbre relativa a su sostenibilidad, dado que se basan en políticas que pueden cambiar a lo largo de la vida del proyecto. Incluso si se tienen en cuenta estos incentivos, los costos iniciales siguen siendo muy altos.

Torre de telecomunicaciones – cliente de anclaje

La industria de telecomunicaciones ofrece una excelente oportunidad a los promotores privados. La industria de telecomunicaciones está experimentando un crecimiento muy rápido en las regiones rurales del tercer mundo no conectadas a la red. Esto es posible gracias a que los operadores de redes generan su propia energía autónoma, normalmente utilizando generadores diésel pero optando cada vez más por las energías renovables, a fin de explotar sus estaciones de base móviles. A fin de mejorar la seguridad de la estación de base, reducir el coste de la energía, aumentar los flujos de ingresos y facilitar una mayor utilización de los teléfonos móviles en estas comunidades sin conexión a la red, los operadores de telecomunicaciones están probando diferentes enfoques para proporcionar electricidad más allá de la estación de base en las comunidades locales, a través del Programa de Tecnologías Móviles para el Desarrollo de los Servicios Públicos⁴² (Taverner, 2010). Entre estos enfoques destaca la externalización de la energía a promotores privados, y el suministro por parte de la estación de base móvil de una demanda energética de anclaje estable. Al afianzar sus actividades comerciales mediante el suministro de energía a la estación de base móvil, los promotores privados pueden alimentar de manera rentable a las comunidades vecinas. Si bien este modelo de asociación entre los operadores de redes y los promotores privados de soluciones de minirredes no resuelve el problema de los altos costes iniciales, la demanda de energía estable de las estaciones de base móviles proporciona una sólida oportunidad de negocio que puede atraer inversiones y fondos para la investigación a largo plazo.

6.2 Fondos de servicio universal

Los fondos de servicio universal se utilizan tradicionalmente para crear incentivos a fin de que las empresas de telecomunicaciones hagan llegar los servicios de telecomunicaciones hasta zonas distantes⁴³. La financiación de proyectos energéticos comunitarios en las comunidades de destino no se contempla por ahora. Es necesario que los fondos estén diversificados para incluir la financiación de las fases iniciales de los proyectos energéticos comunitarios como medio para facilitar la adopción de los servicios de telecomunicaciones en dichas comunidades sin conexión a la red.

La financiación será un desafío importante para la expansión masiva propuesta y la mejora de los sistemas de electricidad de los PMA que se consideran necesarios para conseguir el acceso universal para 2030.

⁴² Taverner, David (2010): *Community Power: Using Mobile to Extend the Grid. Green Power for Mobile*. GSMA, Londres. 80 págs.

⁴³ Dorward, Lynne A. (2013), *Universal Service Fund and Digital Inclusion for All*, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra. 142 págs.

A semejanza de otros procesos de producción, la generación, la transmisión y la distribución de electricidad acarrea costes fijos y variables. La industria de la electricidad se enfrenta a la importante carga inicial de las inversiones antes de poder amortizarlas. En particular, la red de transmisión y de distribución se asocia a costos fijos masivos.

Las tecnologías de generación de energía renovable distinta de la hidroeléctrica, como la energía eólica y solar, también tienen altos costes fijos, aunque muy inferiores a los de las plantas centralizadas a gran escala de combustibles fósiles o las fuentes renovables.

Los riesgos que se suelen evaluar en el sector de la electricidad de los PMA son la escasa capacidad del pago de los clientes; la ausencia de marcos que orienten la participación del sector privado; y el riesgo reglamentario percibido de los monopolios de servicios públicos, sujetos a mandatos sociales y a incertidumbres políticas.

Entre 2012 y 2014, la parte correspondiente a los países de ingresos medianos en la financiación movilizada a través de garantías, préstamos bancarios sindicados y participaciones fue del 72,3%. La parte correspondiente a los PMA fue del 8% y la correspondiente a los demás países de ingresos bajos del 2%. Los países en desarrollo de África (el 29,1%) fueron los que resultaron más beneficiados, seguidos de los de Asia (el 27,2%) y los de América (el 21,1%) (OCDE, 2016).

Planes sobre la base de ingresos corrientes

Los proveedores de planes sobre la base de ingresos corrientes pueden utilizar uno de dos enfoques para financiar el sistema a través del cliente.

- Se puede establecer una comisión indefinida por el servicio, en cuyo caso el cliente nunca tiene la propiedad del sistema, sino que simplemente paga para utilizarlo. Esto funciona según el principio de que el cliente solo paga cuando necesita la energía y esta se encuentra disponible a un precio asequible, normalmente sobre una base diaria, semanal o mensual (parecido a un acuerdo de financiación tradicional).
- En última instancia, el cliente será propietario del sistema tras abonar los costes principales de este, para lo que deberá hacer pagos diferenciados.

Caso de M-KOPA

M-KOPA Solar se suele citar a menudo como ejemplo de empresa con buena experiencia en el ámbito de aplicaciones exitosas de planes sobre la base de ingresos corrientes, que ha conectado a más de 330 000 hogares de Kenya, Tanzania y Uganda a la energía solar y que conecta a 500 nuevos hogares más cada día (*The Economist*, 2016).

6.3 Financiación externa

Actualmente, las principales fuentes de financiación de los proyectos energéticos comunitarios son externas, y se trata principalmente de financiación oficial para el desarrollo procedente de organizaciones multilaterales como el Banco Africano de Desarrollo, el Banco Mundial y el CAD-OCDE, así como de inversores privados. Las organizaciones multilaterales están estrechando su colaboración para encontrar más métodos innovadores de atenuar los elevados riesgos y costes asociados a dichos proyectos a fin de alentar la participación de los inversores

privados. Por consiguiente, estas organizaciones han creado numerosas plataformas para facilitar el desarrollo de proyectos energéticos ecológicos atractivos para bancos y vincular a los inversores con dichos proyectos. La mayoría de estas plataformas también influyen en las políticas energéticas de los países del tercer mundo, especialmente porque la política es uno de los principales factores cuya importancia es señalada por los inversores a la hora de decidir sobre la inversión en determinados países. A continuación se exponen algunas de las plataformas de financiación.

6.3.1 Venta de carbono

El Protocolo de Kyoto, que fue firmado en 1997⁴⁴ y entró en vigor en 2005, ha asignado límites máximos de emisiones de gases de efecto invernadero a todos los países signatarios. El objetivo consiste en acelerar el desarrollo de las tecnologías limpias e invertir la tendencia del calentamiento del planeta. Por consiguiente, el Protocolo instituyó un mecanismo por el que se recompensan las iniciativas emprendidas para desarrollar las tecnologías limpias⁴⁵. Los países (es decir, los proyectos llevados a cabo en dichos países) que tardan en reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero hasta los niveles aceptables pueden comprar créditos de carbono para compensar las emisiones que generan en exceso (medidas en toneladas métricas equivalentes de dióxido de carbono). Estos créditos de carbono son emitidos por países (es decir, proyectos llevados a cabo en dichos países) cuyo nivel de emisiones es inferior a los límites que se les han asignado. El comercio del carbono está muy regulado y abarca varias etapas de verificación por terceros.

6.3.2 Mecanismo para un desarrollo limpio (MDL)

El MDL es la plataforma establecida en el marco del Protocolo de Kyoto para asignar créditos de carbono a las reducciones de emisiones de proyectos en los países en desarrollo. Estos créditos, llamados reducciones certificadas de las emisiones (RCE), se venden a países industrializados, que los compran para cumplir sus metas de reducción de emisiones. El comercio está supervisado y gestionado por la Junta del Fondo de Adaptación (JFA).

El ciclo de proyectos del MDL consta de siete etapas, todas ellas reguladas por diferentes normas y referencias. Estas etapas son 1) el diseño del proyecto por los participantes en el proyecto, 2) la aprobación nacional del proyecto por la autoridad nacional designada, 3) la validación del proyecto por la entidad operativa designada, 4) la inscripción del proyecto por la Junta Ejecutiva del MDL, 5) el seguimiento de los participantes de cada proyecto, 6) la verificación del proyecto por parte de una entidad operativa designada, y 7) la emisión de la RCE por la Junta Ejecutiva del MDL.

El nuevo marco reglamentario del MDL entró en vigor el 1 de junio de 2017 y se resume a continuación.

⁴⁴ Naciones Unidas (1997), Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas, Nueva York. 192 págs.

⁴⁵ CMNUCC (2007): Los mecanismos del Protocolo de Kyoto. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 6 págs.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Restricciones	Repercusiones
MDL	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa - Proyectos de dispositivos domésticos eficientes desde el punto de vista energético 	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de energía nuclear. - Los proyectos hidroeléctricos no deben tener una capacidad instalada de más de 20 MW (salvo en determinadas condiciones). - Se aplica en los países que han ratificado el Protocolo de Kyoto. - Deberá desaparecer en 2020 y ser sustituido por las disposiciones del Acuerdo de París. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se han registrado más de 8 409 proyectos hasta ahora. <ul style="list-style-type: none"> • 1 097 en América Latina • 6 877 en Asia-Pacífico • 84 en Europa y Asia Central • 241 en África • 110 en Oriente Medio
Principales referencias (con inclusión de los marcos de política y las metodologías para calcular el valor previsto de la financiación)			
<ul style="list-style-type: none"> - https://cdm.unfccc.int/Projects/diagram.html - http://climateneutralnow.org/Pages/Home.aspx 			

6.3.3 Mercado de Créditos de carbono en África (ACCE)

ACCE es un mercado de créditos de carbono creado por el gobierno de Zambia para servir de plataforma a fin de que los particulares y las empresas de África obtengan capital para proyectos ecológicos. Se trata simplemente de una de las diversas iniciativas de intercambio de créditos de carbono que ya están en marcha en todo el mundo.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Restricciones	Repercusiones
Mercado de créditos de carbono en África	Todos los proyectos ecológicos basados en África	No se ofrecerá a los proyectos que no estén basados en África.	Aún no está operativo.
Principales referencias			
<ul style="list-style-type: none"> - http://www.africacce.com/ - https://www.daily-mail.co.zm/carbon-credit-exchange-set/ 			

6.3.4 Mercado de Carbono (CTX)

CTX es un mercado de carbono basado en Londres que opera en todo el mundo. Es propiedad de Global Environmental Markets (GEM). CTX interactúa con muchos registros de productos básicos ecológicos y está vinculado electrónicamente con intermediarios financieros a efectos de la negociación eficiente y la transparencia.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Restricciones	Repercusiones
Mercado de Carbono	Proyectos ecológicos en todo el mundo	No se señala ninguna.	El primer y mayor mercado electrónico de carbono del mundo.
Principales referencias			
<ul style="list-style-type: none"> - http://ctxglobal.com/ - http://www.gemglobal.com/ 			

6.3.5 Fondo Africano de Energía Renovable (AREF)

AREF es un fondo de capital privado panafricano centrado en apoyar a los productores de energía independientes de tamaño pequeño a mediano en África subsahariana. El fondo, que se puso en marcha en 2014, tiene un capital suscrito de 200 millones de dólares. Tiene su sede en Nairobi (Kenya) y está patrocinado principalmente por el Banco Africano de Desarrollo (BAfD). Entre sus demás patrocinadores importantes está el Fondo de Energía Sostenible para África (SEFA).

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
AREF <i>Entre los demás socios están: el SEFA, el BAfD, la ABREC, el EBID, el BOAD, el FMO, la Fundación Calvert, la CNUCED, el BIDC, Berkeley Energy Africa Limited, el FMAM, la DANIDA y la USAID.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Los proyectos independientes pequeños y medianos de energía solar, eólica, hidroeléctrica y de biomasa, así como algunas tecnologías geotérmicas y de gas inmovilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Financiación por participación en capital - Apoyo técnico - Apoyo a la gestión 	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 10 y 30 millones de dólares suscritos en capital en cada proyecto.
		Principales referencias	Restricciones
		<ul style="list-style-type: none"> - http://www.berkeley-energy.com/index.jsp#home 	<ul style="list-style-type: none"> - Los proyectos deben generar entre 5 y 50 MW. - No se apoyan proyectos en Sudáfrica.

6.3.6 Energía para África, más allá de la red

Energía para África es una iniciativa dirigida por el Gobierno de Estados Unidos centrada en la inversión y el crecimiento de soluciones energéticas de pequeña escala sin conexión a la red en toda la Región de África subsahariana. La organización se ha asociado con más de 40 inversores y profesionales para obtener suscripciones por más de 1 000 millones de dólares destinadas a lograr soluciones innovadoras. Energía para África también está trabajando con gobiernos africanos para garantizar que los entornos reglamentarios apoyen las opciones privadas no conectadas a la red. Hasta ahora, Energía para África ha generado una lista de 13 centros de preparación de proyectos en una fase temprana que llevan a cabo actividades en el sector energético de África subsahariana.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia		Repercusiones
<p>Energía para África – una alianza dirigida por el Gobierno de Estados Unidos.</p> <p><i>Entre los demás socios están: el BAFD, la ATI, Canadá, el DBSA, UK Aid, Francia, la UE, la IDC, la IRENA, Israel, Japón, la NEPAD, Noruega, SE4All, Suecia y el Banco Mundial.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Proyectos de energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa Proyectos de dispositivos domésticos eficientes desde el punto de vista energético 	<ul style="list-style-type: none"> Financiación mediante subvenciones Financiación de deudas Fondos propios Financiación de entresuelo Seguro Garantías Capital de riesgo en fase inicial 	<ul style="list-style-type: none"> Preparación de proyectos Apoyo a la creación de proyectos Asistencia técnica Asistencia jurídica Investigación tecnológica/científica Estudios de mercado 	<ul style="list-style-type: none"> Ya se han suscrito más de 54 000 millones de dólares. Presta apoyo a 130 socios del sector privado en más de 14 países de África subsahariana. 40 de los socios del sector privado se centran en desarrollar servicios e infraestructuras de minirredes y potencia distribuida en zonas rurales y periurbanas.
Principales referencias				
<ul style="list-style-type: none"> https://www.usaid.gov/powerafrica/beyondthegrid https://www.usaid.gov/powerafrica/toolbox 				

6.3.7 Fondo de Energía Sostenible para África (SEFA)

El SEFA es un mecanismo de donantes múltiples de 95 millones de dólares dirigido por el BAFD y financiado por los Gobiernos de Dinamarca, Italia, Reino Unido y Estados Unidos. Apoya la agenda para la energía sostenible en África. El SEFA funciona concediendo subvenciones a fin de facilitar la preparación de proyectos financiables, haciendo inversiones en capital social de esos proyectos mediante el AREF y ayudando a instituciones del sector público a mejorar el entorno propicio para las inversiones del sector privado. Está en consonancia con la iniciativa de Energía Sostenible para Todos (SE4All) de las Naciones Unidas. Juntos, llevan a cabo las actividades de la Oficina de Ayuda a las Minirredes Ecológicas, que proporciona información completa a los promotores de minirredes ecológicas en África.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
SEFA <i>Entre los socios están: el BAfD y SE4All.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de minirredes ecológicas en África. - El proyecto debe perseguir una inversión en capital de entre 30 y 200 millones de dólares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Financiación mediante subvenciones con gastos compartidos a fin de facilitar las actividades previas a la inversión (estudio de viabilidad previo al cierre financiero). - Asistencia técnica en las etapas previas a la inversión. - Inversión en capital mediante el AREF. - Ayuda a los gobiernos a crear entornos propicios para las inversiones privadas (regímenes jurídicos, reglamentarios y de política). 	<ul style="list-style-type: none"> - Uno de los principales contribuyentes a la iniciativa AREF.
		Principales referencias	
		<ul style="list-style-type: none"> - https://www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/sustainable-energy-fund-for-africa/ - https://www.se4all-africa.org/se4all-in-africa/financing-opportunities/sustainable-energy-fund-for-africa/ - http://greenminigrid.se4all-africa.org/ 	

6.3.8 Fondo de la OPEP para el Desarrollo Internacional (OFID)

La OFID es la institución de financiación del desarrollo creada por los Estados Miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) en 1976 como canal de ayuda a los países en desarrollo. La Iniciativa de la Energía para los Pobres de la OFID, que está financiada a través de una revolucionaria dotación de 1 000 millones de dólares suscrita por el Consejo de Ministros de la OPEP, tiene por objeto buscar soluciones viables para poner universalmente la energía limpia a disposición de las personas pobres de las zonas rurales de los países en desarrollo. En 2016, la iniciativa consiguió en total 412 millones de dólares en nuevos compromisos. Más de la mitad de esta cantidad fue aprobada por conducto del sector privado para la construcción de plantas energéticas que incluían instalaciones fotovoltaicas e hidroeléctricas en África.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
OFID <i>Algunos de los socios son SE4All y la industria energética</i>	- Todos los proyectos energéticos en los países en desarrollo	- Infraestructura y suministro de equipos - Investigación y creación de capacidad Subvenciones para los planes de energías renovables de pequeña escala	- Hasta ahora se ha prestado apoyo a proyectos en 90 países en desarrollo.
		Principales referencias	Restricciones
		- http://www.ofid.org/FOCUS-AREAS/Energy	- No se presta apoyo a proyectos en Nigeria y Côte d'Ivoire.

6.3.9 Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)

El fondo de proyectos de la IRENA es un fondo destinado a los proyectos de energías renovables en los países en desarrollo. Ofrece préstamos en condiciones favorables asignados a lo largo de siete ciclos de financiación para apoyar los proyectos de energías renovables recomendados por la IRENA al Fondo de Abu Dabi para el Desarrollo (ADFD) a efectos de financiación en los países en desarrollo. Las solicitudes pueden ser presentadas por entidades gubernamentales, semigubernamentales, privadas o no gubernamentales, pero han de tener el respaldo del gobierno del país donde ha de llevarse a cabo el proyecto y ser priorizadas por dicho gobierno.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
IRENA <i>Algunos de los socios son SE4All y la industria energética</i>	<ul style="list-style-type: none"> - El proyecto debe implementarse en un país miembro de la IRENA. - El proyecto debe implementar energías renovables. - El proyecto debe encontrarse en etapas avanzadas de los estudios de viabilidad y preimplementación. - El proyecto debe tener un estudio de viabilidad completo y un análisis económico en la etapa de propuesta completa del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Financiación de la deuda a razón de 5 a 15 millones de dólares por proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta ahora se ha prestado apoyo a proyectos en 90 países en desarrollo.
		Principales referencias	Restricciones
		<ul style="list-style-type: none"> - http://www.ofid.org/FOCUS-AREAS/Energy 	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las solicitudes deben estar respaldadas por una carta de garantía gubernamental, expedida por el ministerio o la autoridad que se ocupa de la cooperación internacional y los empréstitos del país.

6.3.10 Alianza para las Energías Renovables y la Eficiencia Energética (AEREE)

La AEREE es un acelerador internacional de alianzas multilaterales basado en Viena para la implementación de energías renovables y sistemas de eficiencia energética en los países en desarrollo. La AEREE invierte en soluciones de electricidad distribuida fiables, asequibles y seguras para la conexión de los hogares pequeños no conectados a la red (iluminación solar autónoma y fuentes de energía) a aplicaciones de microrredes y minirredes en comunidades que disponen de una conectividad a la red poco fiable o ausente. La Red de Asesoramiento Financiero Privado (PFAN) coorganizada por la AEREE proporciona a las empresas participantes mentoría empresarial y estratégica y servicios para encontrar a inversores idóneos a fin de ayudar a los proyectos de transición desde los donantes hasta la financiación privada. La AEREE sigue de cerca estos proyectos, utilizando un marco de supervisión, evaluación y aprendizaje que los ayuda a obtener, procesar y reaccionar a las experiencias de los proyectos a medida que tienen lugar, y a generar información basada en pruebas para seguir creciendo y replicando modelos prometedores. Este conocimiento es una etapa fundamental para reducir el riesgo

del compromiso de mercado para las empresas, los inversores y las partes interesadas del sector público. La AEREE también sigue un enfoque de múltiples niveles para compartir conocimientos, que empieza por la colaboración directa con socios cercanos que pueden hacer buen uso de las pruebas desarrollando políticas y dando forma a los canales de inversión. La organización es sede de una nueva alianza de agentes de intercambio de conocimientos sobre el clima, conocida como el Grupo de Agentes de Intercambio de Conocimientos sobre el Clima, de la que es su principal miembro.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
<p>AEREE</p> <p><i>Algunos de otros socios son la ONUDI, la IRENA, la Asdi, Austria, Blue Moon Fund, CDKN, Alemania, GIZ, Noruega, el OFID, Suiza, Reino Unido, la Comisión de las Comunidades Europeas, EURIMA, la UE, Australia, Canadá, Irlanda, Italia, Nueva Zelanda, España, los Países Bajos, Estados Unidos, NAIMA y la Fundación Rockefeller.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Viable desde el punto de vista técnico. - Viable desde el punto de vista comercial. - Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. - Tiene beneficios para el desarrollo. - Tiene un equipo de gestión competente. - Tiene potencial de crecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Apoyo a la creación de proyectos - Estructuración de proyectos (incluida la estructuración financiera) - Financiación de los estudios de viabilidad y técnicos - Obtención de subvenciones - Contratación de la deuda - Obtención de participación en capital - Tecnología colaborativa para compartir conocimientos destinada al desarrollo de políticas y a la elaboración de canales de inversión - Sistemas de gestión de conocimientos eficientes y de alto rendimiento - Financiación de entresuelo - Seguro - Garantías - Capital de riesgo en fase inicial 	<ul style="list-style-type: none"> - Más de 1 200 millones de dólares para financiar los 87 proyectos suscritos - Proyecto "Energía para África": Fondo Más Allá de la Red para Zambia - Inversión de 25 millones de dólares para aportar soluciones de energías limpias a un millón de zambianos
		Principales referencias	Restricciones

(continuación)

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
		<ul style="list-style-type: none"> - https://www.reeep.org/ - https://www.bgfz.org/ - http://pfan.net/ - http://www.reegle.info/ - https://www.climateknowledgeworkers.net/ - https://www.climatechanger.net/ 	<ul style="list-style-type: none"> - La AEREE no puede aceptar propuestas no solicitadas fuera de las convocatorias.

6.3.11 Fondo de Impacto del Departamento de Desarrollo Internacional (DFID) del Reino Unido

El Programa de Impacto del DFID tiene por objeto catalizar los mercados para lograr una inversión de impacto en África subsahariana y Asia Meridional a fin de estimular las inversiones en empresas que benefician a las personas pobres y de ingresos bajos mediante la mejora del acceso a bienes y servicios asequibles y la facilitación de oportunidades generadoras de ingresos en la base de la pirámide. El programa tiene dos componentes principales: dos vehículos de inversión gestionados por CDC y una serie de actividades de creación de mercado. El programa comenzó en 2012 y el DFID prevé ofrecer hasta 197 millones de libras esterlinas durante 16 años a tales efectos. La inversión de impacto cubre una amplia gama de cuestiones sociales y ambientales con diferentes inversores e intermediarios. A corto plazo, el Fondo catalizará el incremento de capital generando confianza en los coinversores mediante un sólido proceso de diligencia debida de los rendimientos financieros de las inversiones y el impacto para el desarrollo, y ofreciendo una posible subordinación limitada a los inversores privados si es necesario para catalizar su participación. A más largo plazo, el fondo tiene por objeto catalizar más capital demostrando la viabilidad financiera de los modelos de negocio favorables para los pobres y el impacto positivo que este tipo de inversión tiene. Como parte del Programa de Impacto del DFID, que tiene por objeto catalizar el mercado para las inversiones de impacto en África subsahariana y Asia Meridional, el DFID ha lanzado un Fondo de Aceleración del Impacto de 40 millones de libras esterlinas. El Fondo, gestionado por el CDC, tiene por objeto generar oportunidades económicas y empleo a través de la creación de empleos directos e indirectos, y mejorando el acceso a los bienes y servicios básicos, especialmente en zonas distantes o estados frágiles. Las estrategias de inversión de gran impacto se centran en dos esferas específicas. 1) Ayudar a las empresas a realizar intervenciones con gran impacto para el desarrollo y relacionadas con su actividad principal, que no hubiesen realizado de otro modo, como introducirse en un lugar con una geografía muy difícil o desarrollar un producto que ofrezca a un precio considerablemente inferior acceso a bienes y servicios destinados a los consumidores pobres, en particular las mujeres y niñas. 2) Ayudar a las empresas situadas en zonas geográficas difíciles a crear empresas ecológicas o en zonas abandonadas adyacentes a sus principales inversiones a fin de proporcionar bienes y servicios esenciales para sus operaciones, como los relacionados con la vivienda, la salud y el transporte.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
Fondo de Impacto del DFID <i>Algunos de los demás socios son el Grupo CDC, etc.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos centrados en la mitigación de la pobreza en las comunidades de ingresos bajos. - Los proyectos deben tener un impacto social demostrable y ser viables desde el punto de vista económico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sólido proceso de diligencia debida - Financiación por participación en capital de entre 5 y 15 millones de dólares - Diversificación de proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> - El fondo apoya a siete empresas energéticas en África. - Su objetivo es proporcionar financiación a más de 100 empresas de África subsahariana y Asia Meridional.
		Principales referencias	Restricciones
		<ul style="list-style-type: none"> - https://www.theimpactprogramme.org.uk/ 	<ul style="list-style-type: none"> - No financia proyectos que pueden recibir apoyo mediante la microfinanciación. - El fondo tiene 11 años más para llevar a cabo su misión.

6.3.12 Energía Sostenible para el Desarrollo Económico (SEED)

SEED es una iniciativa del Rocky Mountain Institute (Estados Unidos), que colabora con gobiernos, empresas de servicios públicos, asociados para el desarrollo y promotores de soluciones energéticas del sector privado de África subsahariana a fin de fomentar programas energéticos asequibles, eficientes y para sistemas completos que incorporen tecnologías nuevas distribuidas y renovables y proporcionen rápidamente acceso a la energía a quienes carecen de electricidad.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
Energía Sostenible para el Desarrollo Económico (SEED) <i>Algunos de los demás socios son Virgin Unite y la Fundación Rockefeller.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de energía hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica y de biomasa - Proyectos de dispositivos domésticos eficientes desde el punto de vista energético 	<ul style="list-style-type: none"> - Asesoramiento técnico, financiero y de políticas - Participación en la implementación de proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> - Se estableció una asociación con Rwanda para crear capacidades y estrategias destinadas al logro de una gestión energética más eficiente, que dio lugar a ahorros de 20 millones de dólares a corto plazo y 1 000 millones de dólares a largo plazo en energía y que aumentó del 22% al 70% el acceso a la electricidad con y sin conexión a la red en las zonas rurales. - Actualmente trabaja en Sierra Leona y Uganda.
		Principales referencias	
		<ul style="list-style-type: none"> - https://www.rmi.org/our-work/global-energy-transitions/seed/ 	

6.3.13 Plataforma para el Rendimiento de las Energías Renovables (REPP)

REPP apoya a los proyectos de energías renovables de tamaño pequeño a mediano de menos de 25 MW en toda la Región de África subsahariana. La iniciativa fue creada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Banco Europeo de Inversiones (BEI) para alcanzar los objetivos de SE4All de las Naciones Unidas en África subsahariana prestando apoyo a los proyectos de energías renovables. En este contexto, una amplia gama de tecnologías de energía renovable pueden recibir apoyo, entre otras la eólica, la solar fotovoltaica, la geotérmica, el tratamiento de residuos para la obtención de energía (los gases de vertederos y el tratamiento térmico de residuos), la energía hidroeléctrica de pasada, la biomasa y el biogás. REPP tiene una financiación inicial de 48 millones de libras esterlinas procedente del Departamento de Fomento, Energía y Estrategia Industrial del Reino Unido por conducto del Fondo Internacional para el Clima. REPP presta apoyo tanto a los proyectos conectados a la red como a aquellos no conectados a ella. También tiene en cuenta los proyectos que están siendo desarrollados por promotores privados, si se cumplen los criterios para poder acogerse a la iniciativa de REPP.

Fuentes de los fondos	Proyectos que pueden acogerse a la iniciativa	Tipo de asistencia	Repercusiones
REPP <i>Algunos de los socios son el Departamento de Energía y Cambio Climático, el PNUMA y el Banco Europeo de Inversiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos de energía renovable. - Los proyectos deben estar en el rango de capacidad de 1 a 25 MW. - Los proyectos deben encontrarse en al menos uno de los países siguientes: Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Etiopía, Ghana, Kenya, Liberia, Madagascar, Malawi, Malí, Mozambique, Nigeria, Rwanda, Senegal, Sierra Leona, Tanzania, Togo y Zimbabwe. - Los promotores de los proyectos deben seguir la política y los procedimientos de REPP en materia ambiental y social. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asistencia técnica. - Facilita el acceso a los instrumentos de reducción del riesgo y a los préstamos a largo plazo proporcionados por la financiación en capital de los socios de REPP. - Presta apoyo financiero basado en resultados a los proyectos con solidez financiera. El apoyo financiero basado en los resultados puede ser en forma de bonificaciones de tarifas reguladas u otros instrumentos apropiados. 	<ul style="list-style-type: none"> - El fondo apoya a siete empresas energéticas en África. - Su objetivo es proporcionar financiación a más de 100 empresas de África subsahariana y Asia Meridional.
		Principales referencias	Restricciones
		<ul style="list-style-type: none"> - https://www.repp-africa.org/africa.org/ 	<ul style="list-style-type: none"> - No se pueden patrocinar más de cinco proyectos de ninguno de los países elegibles. - No se prevé que los proyectos que reciben financiación de REPP obtengan otros ingresos procedentes de créditos de carbono por conducto del MDL u otro mecanismo oficial del mercado de carbono.

6.3.14 Resumen de las categorías de opciones de financiación

En el cuadro que figura a continuación se resumen las diferentes opciones de financiación examinadas anteriormente.

	Plataformas de financiación	Categoría
1.	Fondos de servicio universal (FSU)*	Organismo gubernamental, internacional
2.	Comercio de créditos de carbono	
a)	MDL	Organismo internacional
b)	Mercado de Créditos de carbono en África (ACCE)	Gobierno
c)	Mercado de Carbono (CTX)	Sector privado
3.	Fondo Africano de Energía Renovable (AREF)	Sector privado, organismo internacional
4.	Energía para África, más allá de la red	Organismo gubernamental, internacional
5.	SEFA	Organismo internacional
6.	OFID	Organismo internacional
7.	IRENA	Organismo internacional
8.	AEREE	Organismo gubernamental, internacional
9.	Fondo de Impacto del DFID	Gobierno
10.	SEED	Sector privado
11.	REPP	Organismo gubernamental, internacional

* Actualmente solo financia a los operadores de telecomunicaciones sin prever financiación para los proyectos energéticos comunitarios.

6.3.15 Financiación de infraestructuras de banda ancha para reducir al mínimo los riesgos para los inversores privados

En las zonas rurales con poca densidad de población, se disuade a los proveedores de invertir en proyectos de telecomunicaciones debido a que la construcción de infraestructuras de banda ancha es cara, tarda tiempo en rentabilizarse y los rendimientos de una pequeña base de clientes se consideran carentes de interés. Los organismos de financiación pueden establecer facilidades financieras que ofrezcan incentivos al sector privado para invertir en el desarrollo de redes digitales de banda ancha de acceso libre en comunidades rurales insuficientemente atendidas.

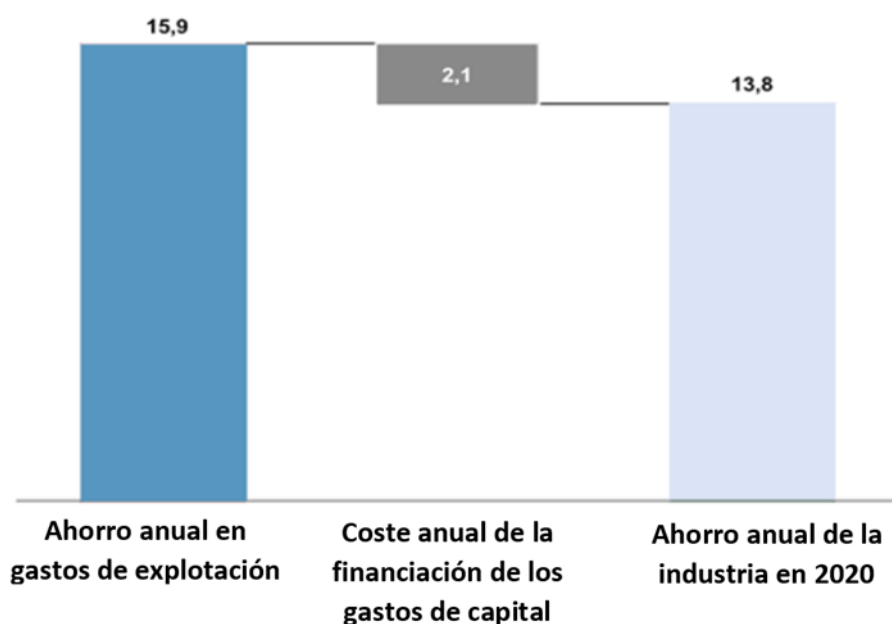
Los proyectos de infraestructuras de banda ancha de acceso libre de este tipo podrían incorporar el desarrollo de redes de microrredes eléctricas renovables sin conexión a la red principal, o asociarse con los productores de energía locales para alimentar las instalaciones de telecomunicaciones así como las comunidades rurales aisladas cercanas.

Un ejemplo típico es el Fondo del Mecanismo Conectar Europa (CEF), que constituye una alianza entre el Banco Europeo de Inversiones y el [Mecanismo Conectar Europa de la Comisión Europea](#), que concede incentivos a los inversores a fin de alentar la financiación de redes de banda ancha para hacer llegar los servicios de Internet digital de alta velocidad a las zonas rurales y distantes poco pobladas e insuficientemente atendidas de Europa.

6.3.16 Las telecomunicaciones y la energía juntas en pro del desarrollo sostenible

Muchas estaciones de base situadas en zonas con poca disponibilidad de la red e instalaciones no conectadas a la red siguen estando alimentadas por generadores diésel. Sin embargo, cada vez se instalan más tecnologías renovables innovadoras y métodos híbridos de suministro de energía. Según la investigación realizada por la GSMA (2014), estos sistemas pueden generar un importante ahorro de costes al año para los operadores de telecomunicaciones (véase la Figura 33).

Figura 33: Ahorro anual de costes de la industria debido a la transición hacia soluciones energéticas ecológicas (en miles de millones de dólares)



Fuente: GSMA, 2014

7 Mecanismos y recomendaciones de política

7.1 Introducción

Las políticas en materia de energías renovables deben incorporarse cada vez más en el marco nacional general de planificación y estrategia del sector energético que abarca todo el ciclo de desarrollo e implementación de las energías renovables. Los encargados de formular políticas deben definir estrategias y metas a largo plazo y adaptar las políticas y normas que también promuevan un entorno energético sin carbono. Las políticas deben ajustarse y coordinarse en los sectores de la energía y el medio ambiente.

La IRENA recomienda que esto incluya la "identificación de las mejores prácticas y tendencias en materia de diseño de políticas y la evaluación de los mecanismos de apoyo y su adaptación a la evolución de las condiciones del mercado".

La extensión de los servicios de banda ancha a las zonas rurales requiere el desarrollo y una importante mejora del acceso a la electricidad en dichas zonas. Los gobiernos tendrán que crear un entorno propicio que requiera la participación del sector privado. A fin de facilitar esta labor, será necesario contar con un sólido entorno reglamentario y de políticas a fin de reducir los riesgos de inversión, mejorar la viabilidad y aumentar el atractivo general del sector energético sin conexión a la red en particular.

Políticas tradicionales en materia energética

A nivel mundial, la economía digital de los países en desarrollo está creciendo a un ritmo impresionante de entre un 15% y un 25% al año⁴⁶. No obstante, los mil millones de personas que aún viven sin conexión a la red no pueden disfrutar de las ventajas de esta expansión digital debido a que no tienen electricidad para acceder a Internet. Por consiguiente, las medidas para hacer llegar los servicios digitales a estas comunidades no conectadas a la red deben ir de la mano de la expansión de las infraestructuras eléctricas. Dado que, con frecuencia, los grandes operadores eléctricos son reticentes a la hora de hacer llegar sus servicios hasta las zonas distantes de bajos ingresos y poco pobladas, es necesario crear mecanismos de apoyo político a fin de promover la intervención de operadores pequeños e innovadores. Resulta alentador observar que, a fecha de 2016, los países en desarrollo habían aprobado políticas para promover las inversiones en proyectos de energías renovables destinados a ampliar el acceso a la electricidad de las comunidades no conectadas a la red⁴⁷. Algunas de estas políticas son:

Las normas de cartera para las fuentes de energía renovable: esta es una normativa que obliga a las empresas eléctricas a producir una parte específica de su electricidad a partir de fuentes de energía renovables. Los productores de energía obtienen certificados por cada unidad de

⁴⁶ Bock, W., Vasishth, N., Wilms, M. y Mohan, M. (2015), *The Infrastructure Needs of the Digital Economy*. The Boston Consulting Group. <https://www.bcg.com/publications/2015/infrastructure-needs-of-the-digital-economy>.

⁴⁷ Hsu, H., Rosengarten, C., Weinfurter, A., Xie, Y., Musolino, E y Murdock, H.E. (2017), *Renewable Energy and Energy Efficiency in Developing Countries: Contributions to Reducing Global Emissions*. The 1 Gigaton Coalition. 90 págs.

electricidad que producen a partir de fuentes renovables. Estos certificados se venden junto con la electricidad a las compañías de suministro, que a continuación los transmiten al organismo regulador para demostrar que cumplen la normativa.

Los incentivos económicos: varios países proporcionan fondos públicos mediante subvenciones, préstamos o incentivos fiscales para alentar las inversiones en energías renovables. La India, por ejemplo, ofrece una subvención del capital del 30% para los sistemas solares fotovoltaicos en tejados.

Las tarifas reguladas para los sistemas conectados a la red: este es el apoyo de política reglamentaria más común que se ofrece a las empresas de energías renovables. Está diseñado para ofrecer contratos de largo plazo a productores de energía renovable sobre la base del costo de la generación eléctrica de cada tecnología. Las empresas eléctricas reciben precios por kWh más altos que reflejan el coste de producción de la electricidad. En los últimos años, algunos países han revisado sus políticas para apoyar a los proyectos de menor tamaño.

Nuevos modelos de negocio y función de la política

Propiciar las consideraciones relativas a las políticas energéticas

El principal problema que afrontan las soluciones de energías renovables no conectadas a la red es la falta de financiación. Esta falta de financiación se debe a los largos periodos de amortización y a la baja rentabilidad de estos proyectos. Por lo tanto, es necesario que las políticas aborden este problema. Ya se están tomando medidas para aumentar la financiación pública mediante subvenciones, préstamos e incentivos fiscales para los inversores. Se deben tomar medidas adicionales para alentar la inversión privada.

Las políticas generales: Las políticas deben crear un entorno propicio para que se realicen inversiones en aplicaciones digitales de suministro y almacenamiento de energía renovable y eficiencia energética.

- Debe haber una cooperación estrecha entre los sectores público y privado para la transformación de energía.
- La creación de condiciones equitativas para las energías renovables (por ejemplo, reformas de las subvenciones para combustibles fósiles y políticas relativas a la tarificación del carbono).
- Definir normas que garanticen la fiabilidad de las tecnologías y las redes (por ejemplo, normas de calidad y técnicas, certificados, etc.).
- Crear mecanismos de garantía apoyados por organismos multilaterales en beneficio de gobiernos con financiación y capacidad de endeudamiento limitadas para reducir los riesgos para el sector privado y atraer inversiones más grandes.

Políticas financieras: Se necesitan instrumentos de política para que los bancos concedan préstamos fiables a largo plazo a estos proyectos. Mediante un marco político y reglamentario adecuado, los responsables de formular políticas pueden mitigar los riesgos económicos definiendo estructuras tarifarias apropiadas que reflejen la estructura de costes de los proyectos, en particular un proceso bien definido para obtener y mantener los permisos, licencias y concesiones. También puede eximirse a los grupos de bajos ingresos del pago de los derechos de importación sobre los aparatos eléctricos y del IVA sobre los servicios relacionados con la energía.

- a) Las políticas de eficiencia energética: las medidas de eficiencia energética son muy eficaces para reducir el consumo de energía per cápita y ampliar el acceso a la electricidad. Esto da lugar a una disminución de los costes de la electricidad y una reducción del desperdicio de energía. Las prácticas eficaces en materia de eficiencia energética pueden mejorar drásticamente la rentabilidad de los proyectos de energías renovables.
- b) Tarifas energéticas: las tarifas también deben reflejar los costes y las características particulares de la generación de fuentes renovables y la normativa debe permitir cambios en las tarifas en función del momento de uso.

7.2 Políticas digitales

- a) El enfoque tradicional sobre el despliegue de las redes digitales se basa en que cada operador construye su propia infraestructura independiente. En las regiones que son principalmente rurales y distantes, el enfoque tradicional no es eficiente y los operadores móviles han estado activa y constantemente buscando maneras de compartir los gastos de la inversión en infraestructuras a fin de ampliar la cobertura de la red y mantener a la vez una competencia saludable en la prestación de servicios. Los modelos de compartición de infraestructuras pueden mejorar la rentabilidad de la expansión de la red en zonas rurales y distantes. Los operadores pueden reducir sus gastos de capital e inversiones hasta entre un 50% y un 70%⁴⁸.
- b) Los operadores móviles también están cediendo sus torres de comunicaciones a los operadores de torres como estrategia de ahorro de costes.

7.3 Consideraciones en materia de política digital

- a) La implementación de redes intermedias de propiedad pública para penetrar en las zonas rurales y alcanzar los emplazamientos distantes.
- b) La adición de zonas rurales puede conseguirse implementando tecnologías de acceso inalámbrico fijo multipunto o tecnologías móviles 4G y 5G de nueva generación.
- c) La reducción de los costes de tránsito ofreciendo subvenciones a los proveedores de redes de banda ancha rurales.
- d) La introducción de nuevas formas de asignar espectro radioeléctrico a fin de reducir el coste de implementación de las redes inalámbricas, simplificando y reduciendo los altos costes de adquisición de las licencias para la utilización del espectro en zonas rurales mediante la compartición o la asignación del espectro de manera cooperativa, en el respeto de los derechos y las obligaciones dimanantes del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.
- e) La creación del entorno reglamentario adecuado para promover las innovaciones digitales, como los sistemas de energía inteligentes, la utilización de la IA y la Internet de las cosas.
- f) Los nuevos modelos de soluciones autónomas (por ejemplo, los planes sobre la base de ingresos corrientes, el servicio de pospago y la carga de batería) y minirredes (por ejemplo, un método para las alianzas entre los sectores público y privado).

En el informe titulado "[Renewable Energy Policies in a Time of Transition](#)" (IRENA, AIE, REN21)⁴⁹ se identifican los principales obstáculos y se destacan las opciones de política para impulsar el despliegue de las energías renovables, haciendo énfasis en el apoyo directo, la integración y la creación de un entorno propicio.

⁴⁸ GSMA (2016), *Unlocking Rural Coverage: Enablers for commercially sustainable mobile network expansion*. Connected Society. <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2016/07/Unlocking-Rural-Coverage-enablers-for-commercially-sustainable-mobile-network-expansion-English.pdf>.

⁴⁹ IRENA, AIE y REN21 <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>.

En el Cuadro 7 se ofrece una clasificación para realizar el seguimiento de los principales mecanismos de política del sector relacionados con los objetivos para el desarrollo.

Cuadro 7: Clasificación de políticas

Políticas para conseguir la transición energética		Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto general	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto del acceso (con inclusión de los servicios energéticos)	Maximización del desarrollo socioeconómico con el despliegue de las energías renovables
Políticas directas	Destinadas a impulsar la oferta	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivos vinculantes para el uso de las energías renovables - Cuotas de electricidad y obligaciones - Elaboración de códigos - Mandatos (por ejemplo, calentadores de agua solares, energías renovables para la calefacción urbana, etc.) - Mandatos combinados 	<ul style="list-style-type: none"> - Metas, estrategias y programas de electrificación en zonas rurales - Estrategias y programas de cocina limpia - Programas de digestores de biogás 	Implementación de políticas diseñadas para maximizar los beneficios y garantizar una transición sostenible (por ejemplo, las comunidades, el género), en particular los requisitos, el trato preferente y los incentivos financieros ofrecidos a las instalaciones y los proyectos que permiten conseguir objetivos socioeconómicos.
	Destinadas a impulsar la demanda	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas reglamentarias y de precios (por ejemplo, tarifas reguladas y primas, subastas) - Certificados comercializables - Instrumentos para el autoconsumo (por ejemplo, la facturación y la medición de la red) - Medidas para apoyar los programas voluntarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas reglamentarias y de precios (por ejemplo, disposiciones jurídicas, normativa en materia de precios/tarifas) 	
	Fiscales y financieras	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivos fiscales (por ejemplo, créditos fiscales para la inversión y la producción, amortización acelerada y reducciones fiscales) - Subsidios - Subvenciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivos fiscales (por ejemplo, reducciones) - Subsidios - Subvenciones - Financiamiento en condiciones favorables - Apoyo a intermediarios financieros 	

Cuadro 7: Clasificación de políticas (continuación)

Políticas para conseguir la transición energética	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto general	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto del acceso (con inclusión de los servicios energéticos)	Maximización del desarrollo socioeconómico con el despliegue de las energías renovables
Políticas de integración	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas para mejorar la flexibilidad del sistema (por ejemplo, promoción de recursos flexibles como el almacenamiento, el suministro gestionable, la adaptación de la carga, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas para la integración de sistemas sin conexión a la red con red principal - Políticas para minirredes y sistemas de energía distribuida inteligentes - Políticas de energías renovables de acoplamiento con aparatos eficientes y servicios energéticos 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas para garantizar la presencia de la infraestructura necesaria (por ejemplo, redes de transmisión y distribución, estaciones de carga de vehículos, infraestructura de calefacción urbana, acceso por carretera, etc.) - Políticas para el acoplamiento de sector - Apoyo de I+D para el desarrollo de tecnologías (por ejemplo, almacenamiento) 		
	<ul style="list-style-type: none"> - Mejor adaptación de las políticas en materia de eficiencia energética y energías renovables - Incorporación de objetivos de descarbonización en los planes nacionales de energía - Medidas de adaptación de la estructura socioeconómica a la transición energética 		

Cuadro 7: Clasificación de políticas (continuación)

Políticas para conseguir la transición energética	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto general	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto del acceso (con inclusión de los servicios energéticos)	Maximización del desarrollo socioeconómico con el despliegue de las energías renovables
Políticas de facilitación	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas de igualdad de oportunidades (por ejemplo, reformas de las subvenciones para combustibles fósiles y políticas relativas a la tarificación del carbono) - Medidas para adaptar el diseño de los mercados energéticos (por ejemplo, comercialización flexible a corto plazo, señales de precios a largo plazo) - Políticas para garantizar la fiabilidad de las tecnologías (por ejemplo, normas de calidad y técnicas, certificados, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Política industrial (por ejemplo, aprovechar la capacidad local) - Políticas comerciales (por ejemplo, acuerdos comerciales, promoción de las exportaciones) - Políticas ambientales y climáticas (por ejemplo, reglamentación ambiental) 	
	Política nacional de energías renovables (por ejemplo, objetivos y metas) <ul style="list-style-type: none"> - Políticas para facilitar el acceso a la financiación asequible para todas las partes interesadas - Políticas de educación (por ejemplo, inclusión de las energías renovables en los programas educativos, coordinación de la educación y formación con evaluaciones de las capacidades reales y necesarias) - Políticas laborales (por ejemplo, políticas del mercado de trabajo, programas de formación y readaptación profesional) 		
	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas sobre el uso del terreno - Políticas de I+D y de innovación (por ejemplo, subvenciones y fondos, asociaciones, facilitación del emprendimiento, formación de agrupaciones industriales, etc.) - Políticas urbanas (por ejemplo, mandatos locales sobre la utilización del combustible) - Políticas de salud pública 		

Cuadro 7: Clasificación de políticas (continuación)

Políticas para conseguir la transición energética	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto general	Despliegue (instalación y generación) de energías renovables en el contexto del acceso (con inclusión de los servicios energéticos)	Maximización del desarrollo socioeconómico con el despliegue de las energías renovables
Políticas de facilitación e integración	<ul style="list-style-type: none"> - Gobernanza de apoyo y arquitectura institucional (por ejemplo, procedimientos agilizados en relación con los permisos, instituciones dedicadas para las energías renovables) - Programas de sensibilización sobre la importancia y la urgencia de la transición energética orientada hacia la concienciación y la modificación conductual - Políticas de protección social para hacer frente a las perturbaciones - Medidas para la gestión integrada de recursos (por ejemplo, el nexo de la energía, la alimentación y el agua) 		

Fuente: IRENA, abril de 2018, <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition>.

7.4 Recomendaciones de política operacional de minirredes

Los modelos de los operadores de minirredes describen la estructura organizacional de la implementación y el funcionamiento de las minirredes, y en particular determinan quién tiene la propiedad de los activos de generación y distribución de energía y quién explota y mantiene el sistema.

Se pueden examinar cuatro modelos principales de operadores de minirredes:

- Servicio público
- Sector privado
- Comunidad
- Híbrido

La correcta implementación de cada modelo depende de su contexto particular:

- a) el entorno natural (por ejemplo, la geografía, los recursos energéticos y las condiciones climáticas/meteorológicas);
- b) el contexto socioeconómico local;
- c) el entorno político y reglamentario.

Las medidas reglamentarias adecuadas deben permitir al sector privado producir (generar) y vender (distribuir) energía a los distribuidores públicos de energía o directamente a los usuarios finales mediante minirredes.

7.5 Políticas específicas sin conexión a la red

La mayor parte de la energía adicional necesaria para lograr el acceso universal implicará la intervención de redes sin conexión a la red principal en forma de microrredes y minirredes que son de propiedad privada; o de un operador de servicios públicos; o serán redes eléctricas de propiedad comunitaria situadas en las zonas rurales de los países en desarrollo. Es poco probable que estas soluciones sin conexión a la red se incorporen a la red principal y es muy probable que sigan operando de manera autónoma. Puede ocurrir que los sistemas comunitarios más amplios sean absorbidos por la red nacional, financiados o gestionados por la empresa eléctrica tradicional que se encarga de la generación y el suministro de energía. La mayoría de los países subvencionan la electricidad proporcionada por la red. Por consiguiente, la fuente de energía no conectada a la red no puede competir con el precio de la electricidad distribuida por la red.

Consideraciones en materia de política:

Habida cuenta del papel fundamental que desempeñan las fuentes de energía descentralizadas, sin emisiones de carbono, para reducir la brecha de la electricidad en las zonas distantes, los mecanismos de política y financiación de soluciones sin conexión a la red y los actores del sector privado son cruciales.

Los operadores de soluciones sin conexión a la red tendrán que mitigar el posible riesgo asociado a la futura llegada de la red nacional, que podría causar una incertidumbre importante para la viabilidad de las minirredes a largo plazo. Las políticas relativas a la llegada de la red principal deben regular la manera y el momento en que dicha red llegará y mitigar los riesgos a que se enfrentan los operadores de soluciones sin conexión a la red y minirredes.

Los promotores, operadores e inversores privados de minirredes deben poder recuperar los costes correspondientes a la explotación sostenible y contar con un plazo razonable para ello y con márgenes adecuados⁵⁰.

El acceso a la electricidad empodera a las personas y las comunidades locales para aumentar sus ingresos y su productividad, mejora su acceso a la salud, el agua y la educación, e incrementa su bienestar socioeconómico general. El acceso al servicio energético universal y a los servicios digitales facilitados por la banda ancha es fundamental para lograr los ODS para 2030.

⁵⁰ https://www.academia.edu/38089928/Renewable_Energy_Policies_in_a_Time_of_Transition?auto=download.

8 Conclusión

La conectividad requiere muchos recursos energéticos y no se conseguirá si no se dispone de un acceso a la energía, en particular a fuentes de energía asequibles, seguras y adaptables. No es sorprendente observar que las deficiencias en materia de conectividad y energía eléctrica se encuentran a menudo en los mismos lugares.

La producción y distribución de energía están evolucionando gracias a la innovación tecnológica en torno a la energía limpia, en cuyo marco se observan las tendencias siguientes: la descarbonización, la digitalización y la descentralización.

Las fuentes de energía renovables unidas a los programas informáticos de almacenamiento y eficiencia energética son fundamentales para respaldar el acceso a la conectividad de manera fiable y asequible en las zonas distantes.

Además, el acceso a los servicios esenciales como la electricidad y la conectividad puede y debe facilitarse mediante infraestructuras combinadas o compartidas, a fin de reducir las inversiones y los costes operativos y acelerar al mismo tiempo los avances hacia la consecución de múltiples ODS.

La conexión de los próximos miles de millones de personas requiere la innovación no solo en materia tecnológica, sino también en los modelos de negocio y la financiación. A semejanza de otros aspectos de la cuarta revolución industrial, el desarrollo social y económico solo puede lograrse con modelos que se puedan adaptar y reproducir inspirados por la revolución de la plataforma que se aplica a todos los segmentos de la economía y la sociedad.

En el modelo de compartición, tanto entre los actores del sector privado como en las alianzas entre el sector público y el privado, es el que permite abordar el acceso a la electricidad y la conectividad de manera eficiente. El apoyo financiero de las organizaciones para el desarrollo e internacionales puede atraer inversiones del sector privado en infraestructuras que requieren grandes cantidades de capital. Sin embargo, estas infraestructuras son fundamentales para reducir la brecha digital, lograr el acceso a la electricidad y abrir múltiples oportunidades para aprovechar de manera productiva el desarrollo socioeconómico, en particular el acceso a los servicios digitales.

9 Anexos y estudios de caso

9.1 Empresas de servicios energéticos

El mercado de la energía distribuida será importante para impulsar el despliegue de las soluciones de energía limpia en África, prestando servicios de energía limpia, fiable y asequible al sector de operadores de torres de telecomunicaciones.

Un mercado en crecimiento

En África, el número de nuevas suscripciones a la telefonía móvil celular aumentó en promedio a un ritmo anual de más del 12% entre 2010 y 2015, y se prevé que el tamaño de la red móvil africana pase de 240 000 torres en 2014 a 325 000 torres para 2020. Los operadores de redes móviles están en pleno centro de la economía móvil africana en rápido crecimiento, en particular el comercio electrónico, el comercio móvil, el dinero móvil, la banca móvil y otros servicios de valor añadido como la ciberseguridad, el cibergobierno y la ciberagricultura.

Sin embargo, a medida que los operadores de redes móviles se desplazan a las zonas rurales poco pobladas, disminuyen los ingresos medios por usuario y aumentan los costes energéticos, debido a la ausencia de energía eléctrica de la red y a los altos costes del combustible. Los costes energéticos pueden representar el 60% del gasto de explotación de las infraestructuras de los operadores de redes móviles y constituyen un factor que desalienta el despliegue a gran escala de la cobertura móvil en zonas rurales. A raíz de la reciente caída del precio de los sistemas solares fotovoltaicos y las tecnologías de almacenamiento de energía, las soluciones de energía solar e híbridas se han vuelto cada vez más competitivas y pueden ofrecer a los operadores de redes móviles y a las empresas dedicadas a la explotación de torres un suministro de energía más fiable y asequible.

Sin embargo, en vista del contexto intensamente competitivo y en rápida evolución, los operadores de redes móviles se centran en prestar servicios a los clientes e invertir en infraestructuras activas (es decir, equipos radioeléctricos), en lugar de invertir tiempo y recursos en soluciones de energía limpia. Dada la constante evolución del panorama de la energía por torres que requiere conocimientos técnicos específicos, los operadores de redes móviles no se encuentran en una situación ideal para impulsar la eficiencia energética. Además, a medida que los ingresos medios por usuario disminuyen, los operadores de redes móviles dan prioridad a la ampliación de las redes y a la actualización de las tecnologías de los equipos activos. Con un capital limitado, tienden a favorecer las inversiones en los equipos radioeléctricos activos respecto de las inversiones en soluciones energéticas. El potencial de ahorro de costes que ofrecen las soluciones de energías renovables y ecológicas no se explota, especialmente porque se prevé que su plazo de rentabilización pueda alcanzar hasta un máximo de cuatro años. Las empresas de servicios energéticos gozan de una posición mejor para invertir en activos a largo plazo y amortizarlos a lo largo del tiempo a fin de conseguir todos los beneficios de los costes reducidos.

Figura 34: Soluciones de las empresas de servicios energéticos en África



Sostenibilidad

Los operadores de redes móviles y las empresas dedicadas a la explotación de torres que cotizan en bolsa se han comprometido a reducir las emisiones de CO₂ procedentes de sus actividades. Mediante una reducción del consumo de combustible en un 66% por término medio a través de la inversión en sistemas energéticos eficientes, los operadores de redes móviles disminuyen considerablemente sus emisiones de CO₂.

Algunos de los beneficios que pueden tener las soluciones de las de las empresas de servicios energéticos para los operadores de redes móviles y las empresas dedicadas a la explotación de torres son:

- **Preservación de los gastos de capital**
El hecho de ceder las inversiones relativas a la generación de energía y la explotación y mantenimiento a las empresas de servicios energéticos permite a los operadores de redes móviles y las empresas dedicadas a la explotación de torres limitar los efectos en el desembolso inicial de gastos de capital y reducir la movilización de reservas de capital para activos que no forman parte de sus actividades principales.
- **Reducción de costes**
El modelo de las empresas de servicios energéticos permite a los operadores de redes móviles y las empresas dedicadas a la explotación de torres beneficiarse de una importante reducción de los gastos de explotación totales (de entre un 20% y un 35% en función del país), gracias principalmente a la disminución de los gastos energéticos pero también a la disminución de los gastos de explotación y mantenimiento, sin tener que desembolsar tesorería para inversiones, dado que las empresas de servicios energéticos realizan las inversiones en su lugar.

- Fiabilidad

La energía es fundamental para los operadores de redes móviles y las empresas dedicadas a la explotación de torres a fin de garantizar la fiabilidad de su red y el nivel de servicio prestado a sus clientes. El modelo de las empresas de servicios energéticos les permite beneficiarse de una fuente de energía fiable que requiere poco mantenimiento en los emplazamientos, así como de garantías de resultados pactados.

9.2 Soluciones financieras, contractuales y operativas típicas

Una empresa local de servicios energéticos se encargará de diseñar, proporcionar, explotar y mantener equipos eficientes desde el punto de vista energético para alimentar las torres de telecomunicaciones. Cada empresa local de servicios energéticos establecerá un contrato con uno o varios clientes sobre la base de un acuerdo marco de servicios, en virtud del cual les facturará:

- una cuota de infraestructuras fija que abarcará los gastos de capital iniciales y de sustitución, los gastos de financiación y los gastos de gestión de la empresa local de servicios energéticos;
- una cuota de energía que abarcará los gastos de combustible y de red, con un volumen garantizado de ahorro en combustible (el riesgo se transmitirá al socio técnico);
- una cuota de explotación y mantenimiento que abarcará los servicios de explotación y mantenimiento (el riesgo se transmitirá al socio técnico).

Figura 35: Ejemplo de soluciones contractuales y técnicas para las empresas de telecomunicaciones



Distribución de los riesgos

El modelo de las empresas de servicios energéticos permite a los operadores de redes móviles y a las empresas dedicadas a la explotación de torres aislar los bienes energéticos relacionados con sus torres en una entidad de cometido especial. Al igual que en una estructura tradicional de financiación de proyectos/basada en activos, el riesgo relacionado con la construcción, el desempeño y la explotación se transmitirá a las eléctricas y a los socios encargados de la explotación y el mantenimiento del proyecto.

Posibilidad de reproducir y adaptar el modelo

Gracias a la presencia local y a las actividades de los socios encargados de la explotación y el mantenimiento que ya colaboran con los operadores de redes móviles de África subsahariana, el modelo de las empresas de servicios energéticos se puede reproducir y adaptar en otros países. Los acuerdos marco de servicios entre las empresas de servicios energéticos y los operadores debe estar muy normalizado entre los proyectos. Por consiguiente, la empresa local de servicios energéticos se combinará con futuros proyectos a nivel de su cartera, lo cual permitirá a los prestamistas apoyar proyectos a nivel de la cartera o de cada proyecto, siempre sobre la base de valores respaldados por activos pero, en su caso, ofreciendo un perfil de riesgo diversificado para la cartera.

Fuerte impacto ambiental de la inversión

El negocio de las empresas de servicios energéticos se basa en sustituir los sistemas de generación de energía que requieren grandes cantidades de combustible por sistemas de generación de energía híbridos. Por ejemplo, la inversión permite instalar equipos de generación de energía renovable o baterías eficientes, que reducen el consumo de combustible en un 66% por término medio, lo que evita la emisión de aproximadamente 5 500 toneladas equivalentes de CO₂ al año, tan solo en el caso del proyecto Orange RDC.

Una solución técnica fiable

Cada empresa local de servicios energéticos sustituirá los ineficientes sistemas de generación de energía por diésel que sean propiedad de los operadores de redes móviles o las empresas dedicadas a la explotación de torres por sistemas solares híbridos eficientes desde el punto de vista energético que proporcionarán energía eléctrica:

- más barata, gracias a la disminución de la dependencia de los generadores diésel;
- más limpia, dado que el consumo de combustible se reduce entre un 50% y un 100%;
- más fiable, gracias al periodo de actividad garantizado, con una disponibilidad de hasta un 99,9%.

Figura 36: Ejemplo de una solución técnica fiable



9.3 Comunidades ecológicas inteligentes

9.3.1 La plataforma Smart Communities

Smart Communities es una plataforma de distribución compartida física y digital a nivel mundial, destinada a las zonas insuficientemente atendidas con el objetivo final de fomentar el desarrollo social y económico.

Smart Communities se enmarca dentro de 15 de los 17 ODS definidos por las Naciones Unidas, en consonancia con la iniciativa de la Presidencia francesa, presentados en el Cumbre Un Planeta celebrada en Nairobi en marzo de 2019, en la que participaron la Agencia Francesa de Desarrollo y Bpifrance, entre otras instituciones.

Por conducto de un modelo de empresa al gobierno (B2G)/empresa para empresa al consumidor (B2B2C), los centros conectados y alimentados por energía solar sirven de microalmacenes y rincones autónomos, que son puntos de distribución eficientes e inteligentes para poner productos y servicios de empresas, gobiernos y ONG a disposición de quienes se encuentran en el último kilómetro. Al acceder a la red de infraestructura compartida, pueden ampliar sus actividades y negocios a bajo coste, y contribuir a la vez a sus estrategias sociales y ambientales.

Smart Communities también ofrece oportunidades de manera sostenible para la población local, al actuar como una ventanilla única para todos estos diversos servicios y una pasarela hacia el mercado mundial.

En un modelo adaptable y rentable, el objetivo consiste en brindar acceso a servicios universales a un costo marginal mínimo (la electricidad, el agua, la conectividad, la educación, la salud, los

servicios de gobierno electrónico, la banca) así como empoderar a los agricultores, las mujeres y los jóvenes.

Figura 37: Ejemplo de una aldea verde inteligente



Fuente: GreenWish.

9.3.2 Modelo de negocio

Camino hacia el mercado

A través de la red de Smart Communities, los gobiernos y asociados del sector privado acceden a nuevos mercados a un precio de distribución o entrega competitivo, pero también acceden a espacios publicitarios y brindan acceso a datos que pueden ser inestimables como aportación de política pública y para mejorar el entendimiento de los consumidores. Los asociados B2B disfrutan del modelo de negocio inclusivo de Smart Communities, que se enmarca dentro de 15 de los 17 ODS definidos por las Naciones Unidas a través del acceso al agua, la electricidad, la conectividad, la educación, la salud, la agricultura, la creación de empleo, el empoderamiento de las mujeres y los jóvenes, los servicios del gobierno electrónico y la banca, etc.

Las entidades locales de Smart Communities están operadas por un conjunto de empleados internos y subfranquiciados en calidad de subarrendatarios.

La gestión de las infraestructuras y la plataforma digital son proporcionadas por GreenWish mediante subcontratistas.

La estructura de la franquicia tiene por objeto acelerar el crecimiento exponencial de la plataforma de Smart Communities, dando a las marcas locales e internacionales acceso a los consumidores y usuarios, a la publicidad, a la plataforma digital y a las facilidades logísticas compartidas, a la energía y a la conectividad en múltiples países.

El modelo se basa en incentivos y es exponencial: a mayor rapidez adquiera su rentabilidad, más servicios adicionales y repercusiones pueden ofrecerse. Solo puede ser exitoso mediante un enfoque compartido y colaborativo entre las marcas y los gobiernos.

Modelo de ingresos

El modelo de ingresos de Smart Communities se basa en lo siguiente:

- arrendatarios a largo plazo o cuotas fijas de usuario de los socios B2B;
- compartición de los gastos de las transacciones físicas y digitales en el lugar;
- publicidad;
- recopilación y monetización de datos, cuya propiedad se comparte con los gobiernos locales;
- subvenciones en concepto de Responsabilidad Social Empresarial procedentes de socios privados y ONG para apoyar actividades sociales sin ánimo de lucro.

Estructura contractual

El modelo más viable y sostenible implica la financiación de infraestructuras por el gobierno local, por conducto de la financiación de las instituciones de financiación del desarrollo (IFD) o los créditos a la exportación.

Dado que la misión de Smart Communities es fomentar el desarrollo social y económico en territorios insuficientemente atendidos aportando productos y servicios nuevos e innovadores, orientados tanto al sector privado como al público, resulta razonable establecer la actividad como un modelo de concesión en el que el gobierno tiene la propiedad de las infraestructuras mientras que Smart Communities las crea, explota y gestiona las actividades.

9.3.3 Servicios fundamentales

• Electricidad

Las comunidades inteligentes de Smart Communities están alimentadas por energía solar/baterías y carecen totalmente de conexión a la red.

El dimensionamiento de la potencia se adapta al tamaño de estas comunidades y los servicios (almacenamiento en frío, conectividad, etc.), que son modulares y adaptables a la ubicación (periurbana o rural).

Los arrendatarios también pueden vender la carga de energía en el lugar a los clientes particulares.

• Agua

Las comunidades inteligentes de Smart Communities están equipadas con sistemas de purificación de agua de bajo coste para atender a entre 200 y 3 000 personas al día.

• Almacenamiento y almacenamiento en frío

Cada una de las comunidades de Smart Communities está equipada con sistemas de almacenamiento y almacenamiento en frío, en particular de congelación, si procede.

El espacio de almacenamiento se encuentra disponible para las mercancías de rápido consumo (comida, bebidas, cuidado personal), los productos farmacéuticos, los aparatos y productos de telecomunicaciones, los sistemas solares domésticos, y posiblemente los fertilizantes y otros productos localmente pertinentes. Estos puntos de almacenamiento también servirán de puntos de distribución locales.

Una plataforma digital facilita la trazabilidad de los productos desde la importación hasta las ventas B2C con una función de supervisión de las existencias.

- **Venta al por menor**

Smart Communities dispone de una tienda de barrio para las ventas directas.

- **Puntos de acceso Wi-Fi**

Cada comunidad de Smart Community tiene acceso a Wi-Fi de diversas formas.

Si la aldea en cuestión no dispone de conexión a Internet, ya sea mediante la 3G o un proveedor de servicios de Internet (PSI), se ponen a disposición diferentes opciones.

En un entorno completamente desconectado de la red principal, Internet puede obtenerse gracias a la estación de base transceptora más cercana o a una conexión por satélite (VSAT), o utilizando un espacio en blanco de TV.

Smart Communities será el laboratorio para probar múltiples rutas de acceso a la conectividad a un precio competitivo en zonas distantes.

- **Servicios digitales**

La plataforma digital dedicada, disponible en cada comunidad de Smart Communities, sirve de mercado para los servicios y alberga servicios electrónicos de socios estratégicos como los relacionados con el gobierno electrónico, la ciberseguridad, la educación electrónica, la banca electrónica, la agricultura electrónica y el comercio electrónico.

Algunos servicios electrónicos específicos podrían desarrollarse a modo interno.

- **Recopilación de datos**

La plataforma recopilará datos físicos y digitales personalizados para clientes y socios.

Cada comunidad de Smart Communities sirve a una zona de entre 15 000 y 20 000 personas en un radio de 5 km, y tiene una situación estratégica para el tráfico.

Esta zona de impacto y los múltiples servicios y productos ofrecidos en las Smart Communities crearán una gran oportunidad para recopilar datos específicos para todos los socios.

Los datos son propiedad conjunta de GreenWish y el gobierno local, y se ponen a disposición de los demás socios a cambio de una cuota, atendiendo a la finalidad de su utilización.

9.3.4 Responsabilidad Social Empresarial (RSE)

Smart Communities mide su impacto en materia de RSE a través de los ODS.

Al implementar infraestructuras para mejorar el acceso a la energía y reducir la brecha digital en las comunidades privadas de conectividad, Smart Communities se enmarca dentro de 15 de los 17 ODS.

Figura 38: Comunidades ecológicas inteligentes y ODS



- Participación en la **educación** y la creación de capacidad con formación general y sectorial.
- Desbloqueo de la **distribución de diversos bienes de valor añadido**, en particular productos solares e insumos agrícolas especializados.
- Difusión de los servicios y productos fundamentales por conducto de empresarias a las **mujeres**.
- Lucha contra la pobreza, al permitir a las personas tener acceso a la **información** y saber el auténtico precio de mercado de los productos básicos. Ofrecerles también un nuevo canal de ventas mediante el comercio electrónico.
- Hacer realidad la **agricultura electrónica, la cibersalud y la educación electrónica** en las esferas que más lo necesitan.
- Ofrecer conectividad, facilitando que la fabricación sea más inteligente y emita menos carbono.
- **Coordinar** las actividades de los principales actores del sector privado, los organismos públicos, los organismos multilaterales y las organizaciones no gubernamentales de las zonas menos conectadas.

9.4 Enlaces útiles:

Tecnologías hidroeléctricas y plantas hidroeléctricas:

- <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=d8kQe9VdG4I>
- <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=B5qIB-asleo>
- <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=W1PR9fhsf9c>
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=UW_SgFUfyds
- https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=_qaUufeq_7IIIII

Especialista en la conversión de potencia

- <https://www.enetek-power.com/industries>

Transmisión inalámbrica de potencia

- **WiPE (Transmisión Inalámbrica de Potencia para la Electrónica Sostenible)**
 - <http://www.cost-ic1301.org/>
- **WiPoT (Consorcio de transferencia inalámbrica de potencia para aplicaciones prácticas)**
 - <http://www.wipot.jp/english/>
- **BWF (Foro de la banda ancha inalámbrica)**
 - <http://bwf-yrp.net/english/>
 - <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-capacity-growth-between-2019-and-2024-by-technology>

Acrónimos

ADFD	Fondo de Abu Dabi para el Desarrollo (<i>Abu Dhabi Fund for development</i>)
CPE	Equipo en las instalaciones del cliente (<i>customer premises equipment</i>)
ESCO	Empresa de servicios energéticos (<i>energy services company</i>)
IFD	Instituciones de financiación del desarrollo
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables (<i>international renewable energy Agency</i>)
MNO	Operador de redes móviles (<i>mobile network operator</i>)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
O&M	Operaciones y mantenimiento

Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT)
Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)
Oficina del Director
Place des Nations
CH-1211 Ginebra 20
Suiza
Correo-e: bdtdirector@itu.int
Tel.: +41 22 730 5035/5435
Fax: +41 22 730 5484

Departamento de Redes y Sociedad Digitales (DNS)
Correo-e: bdt-dns@itu.int
Tel.: +41 22 730 5421
Fax: +41 22 730 5484

Departamento del Centro de Conocimientos Digitales (DKH)
Correo-e: bdt-dkh@itu.int
Tel.: +41 22 730 5900
Fax: +41 22 730 5484

Director Adjunto y Jefe del Departamento de Administración y Coordinación de las Operaciones (DDR)
Place des Nations
CH-1211 Ginebra 20
Suiza

Correo-e: bdtdeputydir@itu.int
Tel.: +41 22 730 5131
Fax: +41 22 730 5484

Departamento de Asociaciones para el Desarrollo Digital (PDD)
Correo-e: bdt-pdd@itu.int
Tel.: +41 22 730 5447
Fax: +41 22 730 5484

África

Etiopía
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina Regional
Gambia Road
Leghar Ethio Telecom Bldg. 3rd floor
P.O. Box 60 005
Adis Abeba
Etiopía

Correo-e: itu-ro-africa@itu.int
Tel.: +251 11 551 4977
Tel.: +251 11 551 4855
Tel.: +251 11 551 8328
Fax: +251 11 551 7299

Camerún
Union internationale des télécommunications (UIT)
Oficina de Zona
Immeuble CAMPOST, 3^e étage
Boulevard du 20 mai
Boîte postale 11017
Yaoundé
Camerún

Correo-e: itu-yaounde@itu.int
Tel.: +237 22 22 9292
Tel.: +237 22 22 9291
Fax: +237 22 22 9297

Senegal
Union internationale des télécommunications (UIT)
Oficina de Zona
8, Route du Méridien Président
Immeuble Rokhaya, 3^e étage
Boîte postale 29471
Dakar – Yoff
Senegal

Correo-e: itu-dakar@itu.int
Tel.: +221 33 859 7010
Tel.: +221 33 859 7021
Fax: +221 33 868 6386

Zimbabwe
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina de Zona
USAF POTRAZ Building
877 Endeavour Crescent
Mount Pleasant Business Park
Harare
Zimbabwe

Correo-e: itu-harare@itu.int
Tel.: +263 242 369015
Tel.: +263 242 369016

Américas

Brasil
União Internacional de Telecomunicações (UIT)
Oficina Regional
SAUS Quadra 6
Ed. Luis Eduardo Magalhães,
Bloco "E", 10^o andar, Ala Sul
(Anatel)
CEP 70070-940 Brasília – DF
Brasil
Correo-e: itubrasilia@itu.int
Tel.: +55 61 2312 2730-1
Tel.: +55 61 2312 2733-5
Fax: +55 61 2312 2738

Barbados
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina de Zona
United Nations House
Marine Gardens
Hastings, Christ Church
P.O. Box 1047
Bridgetown
Barbados
Correo-e: itubridgetown@itu.int
Tel.: +1 246 431 0343
Fax: +1 246 437 7403

Chile
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)
Oficina de Representación de Área
Merced 753, Piso 4
Santiago de Chile
Chile

Correo-e: itusantiago@itu.int
Tel.: +56 2 632 6134/6147
Fax: +56 2 632 6154

Honduras
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)
Oficina de Representación de Área
Colonia Altos de Miramontes
Calle principal, Edificio No. 1583
Frente a Santos y Cía
Apartado Postal 976
Tegucigalpa
Honduras
Correo-e: itutegucigalpa@itu.int
Tel.: +504 2235 5470
Fax: +504 2235 5471

Estados Árabes

Egipto
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina Regional
Smart Village,
Building B 147, 3rd floor
Km 28 Cairo
Alexandria Desert Road
Giza Governorate
El Cairo
Egipto

Correo-e: itu-ro-arabstates@itu.int
Tel.: +202 3537 1777
Fax: +202 3537 1888

Asia-Pacífico

Tailandia
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina Regional
4th floor NBTC Region 1 Building
101 Chaengwattana Road
Laksi,
Bangkok 10210
Tailandia

Dirección postal:
P.O. Box 178, Laksi Post Office
Laksi, Bangkok 10210, Tailandia

Correo-e: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tel.: +66 2 574 9326 – 8
+66 2 575 0055

Indonesia
International Telecommunication Union (ITU)
Oficina de Zona
Sapta Pesona Building, 13th floor
Jl. Merdan Merdeka Barat No. 17
Jakarta 10110
Indonesia

Correo-e: itu-ro-asiapacific@itu.int
Tel.: +62 21 381 3572
Tel.: +62 21 380 2322/2324
Fax: +62 21 389 55521

India
International Telecommunication Union (ITU) Area Office and Innovation Centre
C-DOT Campus
Mandi Road
Chhatrapur, Mehrauli
New Delhi 110030
India

Correo-e: itu-ro-southasia@itu.int

Países de la CEI

Federación de Rusia
International Telecommunication Union (ITU) Oficina Regional
4, Building 1
Sergiy Radonezhsky Str.
Moscú 105120
Federación de Rusia
Correo-e: itumoscow@itu.int
Tel.: +7 495 926 6070

Europa

Suiza
Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT)
Oficina Regional
Place des Nations
CH-1211 Ginebra 20
Suiza
Correo-e: eurregion@itu.int
Tel.: +41 22 730 5467
Fax: +41 22 730 5484

Unión Internacional de Telecomunicaciones
Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones
Place des Nations
CH-1211 Ginebra 20
Suiza

ISBN: 978-92-61-35963-8



Publicado en Suiza
Ginebra, 2023

Derechos de las fotografías: Adobe Stock