



siemens.com/smart-infrastructure



Contenido

| | Resumen ejecutivo | i |
|---|--|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| | 1.1 Objetivo de la investigación | 2 |
| | 1.2 Definiciones | 3 |
| | 1.3 Alcance | 3 |
| 2 | Desarrollo del índice | 4 |
| | 2.1 Jerarquía y ponderación | 4 |
| | 2.2 Datos | 7 |
| 3 | Resultados | 9 |
| | 3.1 Finlandia | 10 |
| | 3.2 Alemania | 15 |
| | 3.3 Singapur | 20 |
| | 3.4 Reino Unido | 25 |
| | 3.5 California, Estados Unidos | 30 |
| | 3.6 Aplicación del índice en varias regiones | 35 |
| 4 | Principales mecanismos políticos | 36 |
| 5 | Conclusión | 37 |
| 6 | Apéndice | 38 |
| 7 | Referencias | 42 |

Resumen ejecutivo

La relación del mundo con la energía está cambiando a medida que intentamos mitigar el impacto del cambio climático. En los sistemas energéticos del futuro, los consumidores residenciales, comerciales e industriales ya no serán pasivos. Pueden adquirir fuentes de generación, como paneles solares; pueden ofrecer un servicio, como dar flexibilidad a la hora de utilizar la energía; o pueden tomar decisiones de estilo de vida que repercutan en su consumo energético. Por ello, la interfaz entre la red y estos usuarios finales distribuidos no hará más que crecer en importancia. Esta interfaz se denomina Grid Edge.

Grid edge abarca una amplia gama de tecnologías y servicios, desde los vehículos eléctricos hasta las bombas de calor, desde los paneles solares hasta las baterías domésticas, y desde los medidores inteligentes hasta los controles de los edificios. Para maximizar el impacto del despliegue de la tecnología de Grid Edge, el conocimiento tanto de la necesidad como de la preparación para las tecnologías de Grid Edge en una geografía específica puede ser extremadamente valioso para las empresas y los gobiernos por igual.

Este reporte presenta un novedoso índice para caracterizar la necesidad y preparación de las tecnologías de Grid Edge de una región. Para ello, se incluyen los factores que afectan a la necesidad o a la preparación a través de una amplia gama de indicadores, 99 en total. Los indicadores de necesidad se clasifican en función de los que contribuyen a la necesidad actual y futura para la flexibilidad del sistema. Hay cuatro componentes en la preparación de Grid Edge: político, económico, social y técnico. Cada indicador que influye en cada uno de estos componentes se ha ponderado en función de su importancia y de acuerdo con el asesoramiento de los expertos. Por ejemplo, se considera que la introducción de un precio del carbono tiene un impacto sustancial en la preparación de una región para Grid Edge, ya que incentiva las energías renovables y se podría utilizar como una herramienta política clave. Al aplicar este esquema de ponderación jerárquica a los datos recogidos sobre varias localidades, se pueden calcular las puntuaciones de necesidad y preparación de los bordes de la red para cada región.

El reporte se centra en cinco regiones: Finlandia, Alemania, Singapur, Reino Unido y California, en Estados Unidos. Estas regiones se seleccionaron como lugares que históricamente han estado a la cabeza del desarrollo y la adopción de tecnologías modernas relacionadas con la energía. De estas regiones de enfoque, Finlandia es el país con mayor preparación, en parte debido a sus planes para un mercado de flexibilidad y un alto precio del carbono, mientras que California tiene la mayor necesidad, en parte debido a la significativa penetración de paneles solares. Alemania y el Reino Unido les siguen de cerca, y el Reino Unido muestra una gran ambición política, pero algo menos de necesidad y preparación. Singapur, aunque muestra una alta preparación para Grid Edge, presenta una necesidad menor, lo que se debe a su actual dependencia de la generación con combustibles fósiles suministrables y a sus ambiciones más moderadas de introducir la generación de energía renovable en la futura combinación energética.

Para situar estas regiones prioritarias en un contexto global, el índice también se aplica a una gama más amplia de lugares, con la advertencia de que, debido a la falta de datos, existe un aspecto de incertidumbre. La figura 1 muestra la necesidad relativa y la preparación de los bordes de la red de las regiones seleccionadas.

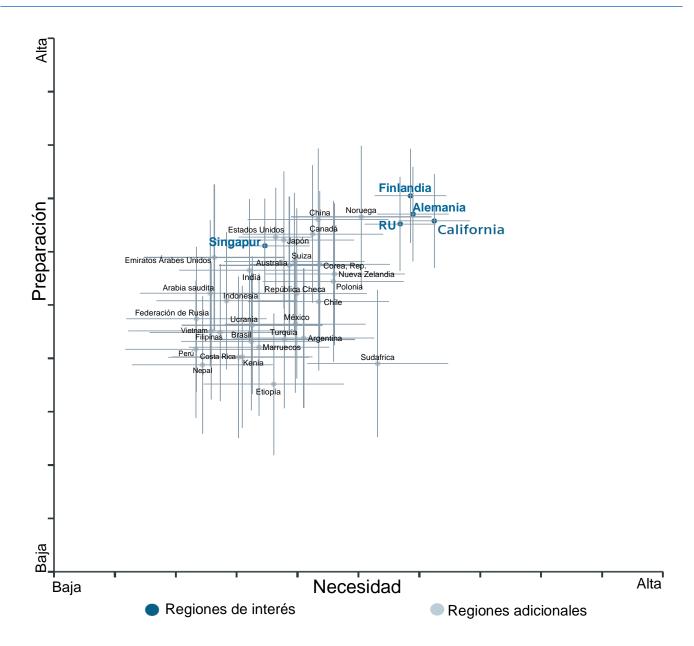


Figura 1:

Necesidad relativa de los bordes de la red y preparación para las regiones seleccionadas, donde las barras de error representan la incertidumbre

Aunque las regiones de interés de Finlandia, Alemania, Reino Unido y California son las regiones con mayor necesidad y preparación, Noruega, China y Canadá son las siguientes con mayor necesidad y preparación, lo que las convierte en candidatas prometedoras para una mayor atención. Otro país a destacar es Sudáfrica, que tiene una necesidad relativamente alta pero una baja preparación. Este es un país donde la tecnología de Grid Edge podría hacer una diferencia, y donde la política se podría emplear para mejorar la preparación.

Se identifican tres mecanismos políticos clave para mejorar la preparación de una región para Grid Edge. Entre ellos, la introducción de incentivos para las tecnologías energéticas limpias; la introducción de mercados de flexibilidad y carbono; y el desarrollo de vías políticas para proporcionar una infraestructura de comunicaciones fiable y segura a todos los ciudadanos nacionales.

1

Introducción

Las tecnologías de Grid Edge son herramientas cada vez más importantes para facilitar una mayor penetración de las energías renovables y mitigar el cambio climático. Sin embargo, hay muchos factores que influyen en si las soluciones de Grid Edge son apropiadas para un lugar concreto y en qué medida ese lugar está preparado para desplegarlas a escala.

Este artículo técnico propone un índice para evaluar la necesidad relativa de un país o región y su preparación para las soluciones de Grid Edge. Los puntajes generales del índice se pueden utilizar para identificar lugares de interés particulares, mientras que los componentes del índice pueden arrojar información sobre las oportunidades y los obstáculos en un país o región específicos.

Se estima que las actividades humanas han causado aproximadamente 1.0 °C de calentamiento global por encima de los niveles preindustriales. Es probable que el calentamiento global alcance los 1.5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual [1]. La descarbonización de los sectores de la energía, el transporte y la industria contribuirá a reducir este aumento, pero sigue siendo un reto importante. Un camino creíble para luchar contra el cambio climático en el sector de la energía se ha hecho evidente con una fuerte disminución en el costo de las energías renovables y un aumento dramático en su utilización. Además del aumento de la eficiencia, una mayor penetración de fuentes de bajas emisiones es un requisito fundamental para una transición limpia. La mayor concienciación de los consumidores y la disminución de los costos han propiciado una mayor adopción de los recursos detrás del medidor, como los paneles solares, las plantas combinadas de calor y electricidad, las baterías domésticas y los vehículos eléctricos. Estos cambios significan que los consumidores residenciales, comerciales e industriales están dejando de ser usuarios pasivos de energía y ahora representan un recurso en gran medida sin explotar que puede ayudar a acelerar la transición limpia a través de la revolución de Grid Edge.

El concepto de Grid Edge se refiere a la interfaz de la demanda de energía distribuida y el suministro de energía distribuida con la red eléctrica. Existe una importante innovación en los componentes de hardware y software de Grid Edge para apoyar la rápida evolución del sistema eléctrico, que se aleja del paradigma centralizado hacia uno más descentralizado y bidireccional.

La transición a un sistema de electricidad con bajas emisiones de carbono implica desafíos tanto en el lado de la oferta como en el lado de la demanda. Por el lado de la oferta, uno de los principales problemas es la intermitencia y la inflexibilidad de las fuentes de energía renovables. Por el lado de la demanda hay una demanda creciente de electrificación de la calefacción y la infraestructura de movilidad. Para equilibrar este desajuste entre la oferta y la demanda, un futuro con bajas emisiones de carbono requerirá la capacidad de cambiar la energía tanto en el tiempo como en el espacio.

En un artículo técnico anterior, titulado "La revolución de Grid Edge" [2], se examinaban los avances en Grid Edge y su impacto en la transición hacia un sistema de red cero. El documento mostró cómo las innovaciones en Grid Edge ayudan a descarbonizar el sistema energético. Se centró en las implicaciones sociales de este cambio y las tecnologías y modelos de negocio involucrados. Las tecnologías de Grid Edge tienen la capacidad no sólo de mantener el suministro de servicios energéticos, sino también de mejorar la disponibilidad de opciones para los clientes, proporcionándoles al mismo tiempo una sensación de control y propiedad. El análisis concluyó que estas tecnologías son vitales para la transición y que existe una clara necesidad, una oportunidad de mercado y la voluntad política de innovar en la red.

El presente artículo técnico se basa en ese trabajo y evalúa la necesidad y el grado de preparación específicos de cada lugar para las soluciones de Grid Edge. Propone un marco para identificar los factores clave que influyen en la necesidad y la preparación para la adopción de tecnologías de Grid Edge en diferentes lugares. Proporciona una idea de qué regiones se beneficiarán más de Grid Edge (es decir, las más necesitadas) y cuáles tienen más probabilidades de involucrarse en Grid Edge (es decir, las más preparadas). A través del proceso de identificación de la necesidad o preparación de una región para Grid Edge, se identifican las características que mejoran la necesidad o preparación de una región y se destaca lo que hay que hacer para mejorar la posición de una región.



El índice se divide en dos partes: necesidad de tecnologías de Grid Edge y preparación de la región para desplegarlas. La necesidad representa la inminente demanda de tecnologías de Grid Edge porque las aspiraciones de la región exigen su despliegue. La preparación representa la idoneidad de las condiciones de la región para desplegar tecnologías de Grid Edge.

Los responsables de la elaboración de políticas podrían utilizar los puntajes del índice para evaluar sus fortalezas o barreras relativas, lo que podría servir de base para futuras orientaciones políticas que aborden necesidades específicas o mejoren la preparación para el despliegue de Grid Edge. Los puntajes del índice también se podrían utilizar para evaluar qué lugares podrían estar más necesitados de ciertas tecnologías o más preparados para otras. Dado que los puntajes del índice sólo arrojan una posición relativa, el índice solo se debe utilizar para indicar que una región o política merece un mayor estudio, y no para comunicar decisiones específicas.

Las regiones que van por delante de otras en términos de necesidad o preparación pueden ser ejemplos útiles de los que otras pueden aprender, o pueden servir como puntos de referencia con respecto a la transición de la energía limpia. La evaluación del potencial de Grid Edge de diferentes lugares indicará, en cierta medida, el estado actual de la transición energética limpia de un país, al tiempo que pondrá de relieve cualquier potencial de mejora. En este sentido, los resultados de este trabajo ayudan a identificar la relación entre la necesidad y la preparación de las tecnologías de Grid Edge, que se puede utilizar para las recomendaciones políticas.

1.1 Objetivo de la investigación

El objetivo de este artículo técnico es el desarrollo de un índice para comprender dos cosas:

La necesidad de tecnologías de Grid Edge

La preparación para las tecnologías de Grid Edge

El objetivo específico de este documento es identificar los factores clave que influyen en la adopción de las tecnologías de Grid Edge y desarrollar un índice de Grid Edge que se pueda utilizar para evaluar diferentes regiones. El índice permite identificar los puntos fuertes de una región y las posibles áreas de mejora, y puede servir de base para la elaboración de políticas e identificar el potencial del mercado.

Estos objetivos de investigación se logran mediante la siguiente metodología. En primer lugar, los factores que influyen en la necesidad o la preparación de Grid Edge se convierten en métricas cuantificables. A continuación, los indicadores se combinan utilizando un esquema de ponderación que tiene en cuenta su importancia relativa y su impacto en la necesidad o la preparación de soluciones de Grid Edge. El resultado final incorpora todos los indicadores para proporcionar puntajes para la necesidad y preparación de una región para soluciones de Grid Edge. El enfoque utiliza la recopilación exhaustiva de datos, la síntesis y las entrevistas con expertos para determinar los indicadores y las ponderaciones adecuadas. El índice se aplica primero a un conjunto cuidadosamente seleccionado de regiones prioritarias y luego se amplía a una gama más amplia de países.



1.2 Definiciones

Grid Edge se refiere a la interfaz de la demanda de energía distribuida y el suministro de energía distribuida con la red eléctrica. Las soluciones de Grid Edge incluyen las muchas tecnologías y servicios conectados que existen en esta interfaz.

La *preparación* para las soluciones de Grid Edge es el estado de tener las condiciones previas económicas, políticas, técnicas y sociales necesarias para el despliegue efectivo de las tecnologías y servicios relacionados a escala.

La *necesidad* de soluciones de Grid Edge es la medida en que las soluciones de Grid Edge pueden apoyar la transición a la energía limpia y permitir las aspiraciones futuras de una región. La necesidad de soluciones para Grid Edge incluye tanto las necesidades existentes de flexibilidad como las posibles necesidades futuras de flexibilidad, impulsadas por los cambios en el sistema eléctrico.

1.3 Alcance

Las regiones objetivo se eligieron mediante la creación de una lista de regiones que históricamente han sido líderes en el desarrollo y la adopción de tecnologías modernas relacionadas con la energía. A partir de esta lista, se seleccionaron las cinco regiones prioritarias con el objetivo de cubrir una gama de geografías, economías, estructuras sociales y características políticas. Las cinco regiones prioritarias son las siguientes:

Finlandia: un país con un clima relativamente frío y penetraciones cada vez más altas de biomasa

Alemania: uno de los primeros líderes de la revolución de las energías renovables

Singapur: una pequeña isla tropical y ciudad estado autónoma, con una infraestructura eléctrica altamente confiable

Reino Unido (RU): una isla más grande y el primer país en establecer un objetivo neto cero jurídicamente vinculante

California: una administración estatal bajo la administración central más grande de los Estados Unidos con importantes recursos renovables*

Los puntajes resultantes para la necesidad y la preparación sólo tienen valor en relación con los puntajes de otros lugares. Más que una necesidad absoluta de Grid Edge o de preparación, los resultados se deben interpretar en el contexto relativo entre los países analizados. Sin embargo, la metodología se ha desarrollado de forma que permite ampliarla a más áreas de interés a medida que se dispone de más datos.

*Se seleccionó California en lugar de todo EE.UU. porque la diversidad estructural, política y climática de los diferentes estados hace que sea valioso entender los diferentes estados por separado.

2 Desarrollo del índice

El desarrollo del índice es un proceso iterativo que implica elegir qué factores incluir y cómo combinarlos en un puntaje adecuado.

El índice de Grid Edge tiene dos dimensiones: la necesidad de soluciones de Grid Edge y la disposición a desplegarlas a escala, ambas definidas en la sección 1.2. Estas dimensiones se miden por separado, con puntajes distintos para la necesidad de Grid Edge y la preparación de Grid Edge para cada lugar.

A continuación, se elaboró un índice a partir de los factores que influyen en la necesidad y la preparación de las tecnologías de Grid Edge. La necesidad de soluciones de Grid Edge está impulsada por la necesidad de flexibilidad en el sistema eléctrico, ya que las soluciones de Grid Edge se pueden utilizar para permitir esta flexibilidad. Los sistemas eléctricos con altas penetraciones de renovables variables necesitan más flexibilidad debido a la inflexibilidad de la generación de energía. Por lo tanto, las regiones con una generación renovable significativa, o con políticas ambiciosas de mitigación del cambio climático que requerirían más energías renovables, tienen una mayor necesidad de soluciones de Grid Edge.

Para cualquier nueva tecnología, el hecho de que un lugar esté preparado para desplegarla o ampliarla depende de las políticas, las normativas, los mercados y las estructuras sociales, además de que la propia tecnología esté plenamente desarrollada y sea compatible con los sistemas existentes. Por lo tanto, el puntaje de preparación para Grid Edge se compone de la preparación técnica, la preparación política, la preparación social y la preparación económica para las soluciones de Grid Edge.

Dado que no es posible medir directamente la necesidad o la preparación para Grid Edge, se ha desarrollado un marco jerárquico de factores que influyen en estas dos dimensiones, tal y como se explica en la Sección 2.1. A estos factores se les asigna una ponderación correspondiente a su influencia en la necesidad o preparación para las soluciones de Grid Edge. Para cada uno de los factores de influencia, se eligen indicadores medibles como propuestas.

El proceso de adquisición de datos se describe en la Sección 2.2. En la medida de lo posible, se recopilaron datos de fuentes de datos de acceso público para diversos lugares. Los puntajes del índice de Grid Edge sólo se calcularon para los lugares en los que se disponía de datos suficientes para calcular un puntaje creíble. En el caso de las zonas en las que no se disponía de datos públicos, los valores se sustituyeron por una estimación óptima o un puntaje neutro, que se describe en la Sección 2.2.

Aunque esto introduce una incertidumbre adicional en los puntajes finales, la aplicación del índice a más lugares puede ayudar a identificar regiones de interés potencial para un análisis más profundo o una mayor recolección de datos. Para garantizar la comparabilidad entre lugares, algunos de estos indicadores se han escalado en función de la población o el PIB, según el caso

2.1 Jerarquía y ponderación

Con un procedimiento descendente, los puntajes para la necesidad y la preparación de los bordes de la red se basan en una estructura de índice jerárquico, que permite una evaluación estructurada de las relaciones complejas. La necesidad y la preparación se dividieron en diferentes componentes que influyen en los puntajes finales.

Ejemplo de estructura de índice jerárquico

Componente n Componente 1

Puntuación del índice

Componente 2

Para cada *componente* del índice, como se muestra en la figura 2, se identificaron los *factores* de influencia y para cada uno de ellos se seleccionaron *indicadores* medibles. Las ponderaciones se determinaron en función de la influencia relativa de cada rama en el puntaje final; y este esquema de ponderación se desarrolló en consulta con expertos de la industria. El tratamiento detallado de los datos se explica en el Apéndice.

Las figuras 3 y 4 muestran las estructuras jerárquicas tanto para la necesidad como para la preparación de Grid Edge.

Los puntajes generales para la preparación y la necesidad de los bordes de la red son la suma de todos los puntajes de los indicadores finales individuales multiplicados por los pesos de esos nodos. En el Apéndice se encuentra una lista de indicadores medibles, detalles de procesamiento y fuentes asociadas.

Figura 3: Jerarquía ponderada del índice de necesidad de bordes de la red

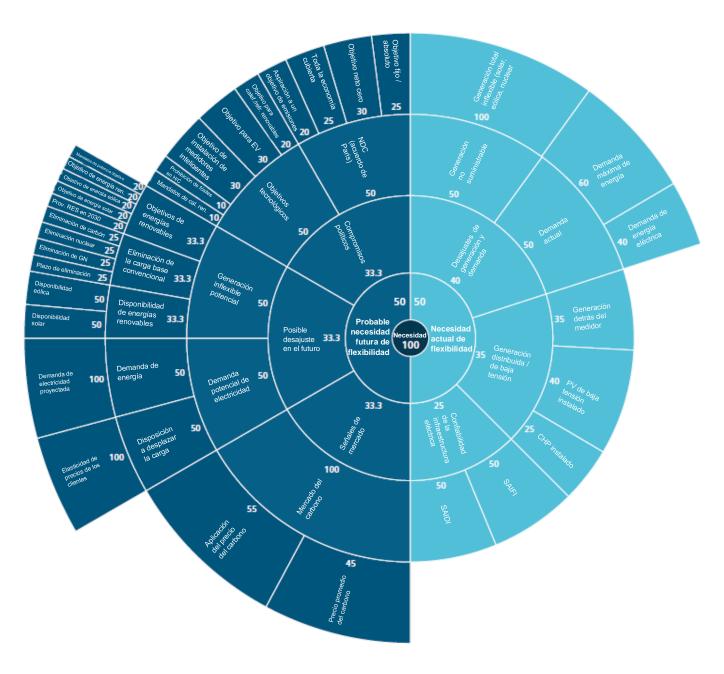
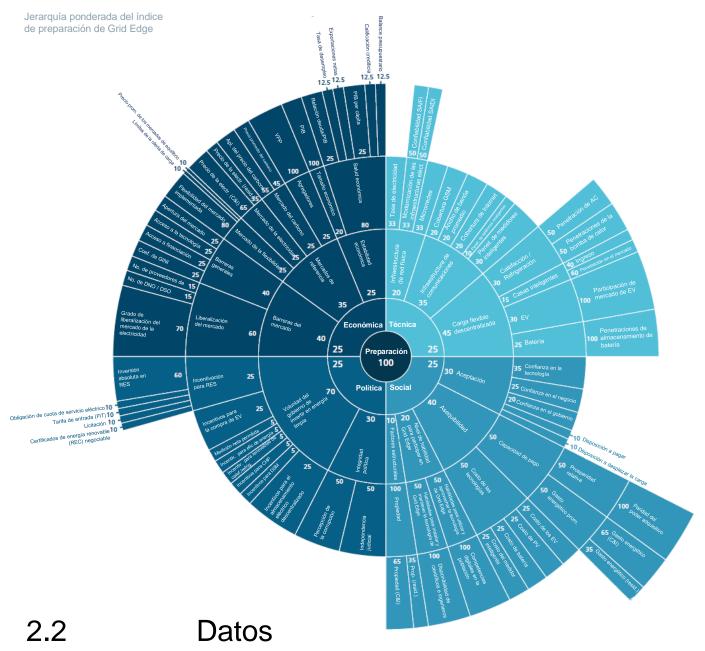


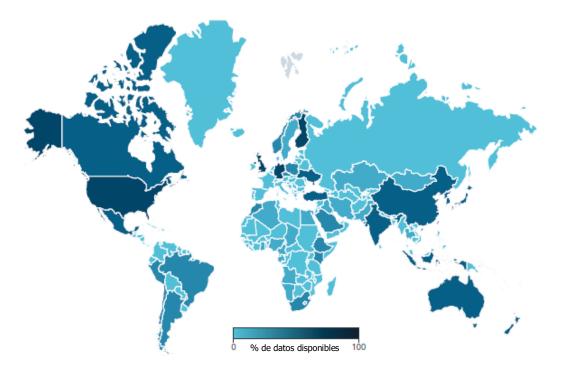
Figura 4:



Los datos se recogieron de una amplia variedad de fuentes de acceso público. En particular, el Grupo del Banco Mundial, la Agencia Internacional de Energías Renovables, la Agencia Internacional de la Energía, Climate Action Tracker, REN 21, la Administración de Información Energética de los Estados Unidos, el Fondo Monetario Internacional, la Comisión Europea, Transparencia Internacional, Standard & Poor's Financial Services LLC y las bases de datos gubernamentales pertinentes. En el Apéndice figura una lista exhaustiva de fuentes e indicadores asociados.

Los puntajes finales de los índices sólo se calcularon para los lugares de los que se disponía de datos suficientes para calcular puntajes creíbles. La figura 5 muestra la disponibilidad de datos para los indicadores de propuesta relevantes.

Figura 5:
Disponibilidad de datos del indicador de Grid Edge global



Los valores de los indicadores difieren entre sí en cuanto al tipo y la magnitud. Los indicadores binarios se utilizaron directamente como propuestas del modelo; no se procesaron más. Es necesario normalizar los indicadores continuos antes de combinarlos en un único índice.

En primer lugar, para comparar las cifras que tenían grandes valores absolutos de diferentes contextos, se dividieron por parámetros específicos del lugar, como la población, el número de hogares o la capacidad total de generación. La conversión de cifras absolutas en ratios específicos es una práctica habitual en la evaluación comparativa de los índices. Al hacerlo, se reducen los efectos de escala de la mayoría de los indicadores. Los casos en los que no se disponía de datos se rellenaron con sustitutos regionales o con valores neutros. En el apéndice se ofrece una descripción más detallada de los valores de sustitución elegidos.

A continuación, se eliminaron los valores atípicos en el extremo superior e inferior. Para ello, se define un valor atípico como un punto de datos que se encuentra fuera de 1.5 veces el rango intercuartil por encima del cuartil superior y por debajo del cuartil inferior.

Por último, los datos se escalaron linealmente entre cero y uno, con el mínimo igual a cero y el máximo igual a uno. Por lo tanto, los puntajes finales muestran la necesidad relativa y la preparación relativa de un lugar en particular, en comparación con otros lugares del mundo. Después de todo el procesamiento, los puntajes finales del índice se escalaron para obtener valores entre 0 y 100.

El índice se ha diseñado para dar cabida a las lagunas de datos, que se pueden producir cuando los datos no se registran o existen, pero no son accesibles (por ejemplo, detrás de un muro de pago). Las lagunas de datos son habituales en un sistema tan complejo como el energético, en el que hay multitud de actores diferentes. Cuando existan lagunas de datos para un determinado indicador, el uso del índice introducirá un aspecto de incertidumbre. No obstante, puede ser valioso aplicar el índice para indicar qué ubicaciones son prometedoras en lo que respecta a la necesidad y la preparación de Grid Edge.

Cuando hay lagunas de datos, la aplicación del índice se realiza utilizando un valor de sustitución neutro de 0.5 para cada indicador en el que faltan datos. Como los puntajes finales del índice están entre cero y uno, el uso de este valor debería minimizar la distorsión de los resultados para la región específica en una dirección particular.

Para indicar la incertidumbre de los valores, se muestran barras de error para estas funciones de datos. Se calculan teniendo en cuenta los diferentes resultados que se obtendrían si los indicadores afectados por las lagunas de datos se completaran con un valor completo de 1 o un valor de 0, en lugar del valor neutro de 0.5.

3

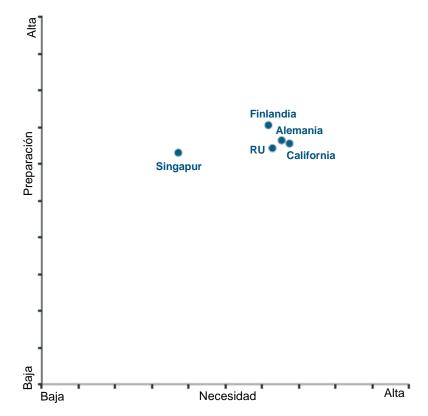
Resultados

El índice se aplicó a cinco regiones de interés cuidadosamente seleccionadas: Finlandia, Alemania, Singapur, Reino Unido y California. La elección de estos lugares permite comparar la necesidad y la preparación de las tecnologías de Grid Edge en lugares con diferentes patrones de uso de la energía, actitudes sociales y sistemas económicos y políticos. Además, se seleccionaron estas regiones porque los expertos del sector consideran que están entre las que lideran la descarbonización, la digitalización y la descentralización, lo que las hace interesantes para el despliegue de la tecnología de Grid Edge.

Para aplicar el índice y calcular los puntajes, se recopilaron los datos de los nodos de entrada que se muestran en la Figura 3 y la Figura 4 para cada región. Los resultados de las cinco regiones se muestran en la Figura 6, con la necesidad en el eje horizontal y la preparación en el eje vertical. Como ya se ha señalado, estos valores no son absolutos y sólo se deben considerar en relación con los demás. Además de los resultados, las figuras 8, 12, 16, 20 y 24 proporcionan un contexto al comparar los tamaños relativos de los indicadores relevantes para las oportunidades de mercado.

Figura 6:

Necesidad y preparación relativa de bordes de la red para las regiones seleccionadas



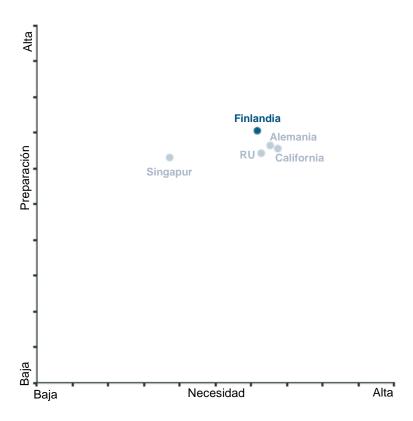
La figura 6 muestra que Finlandia es el país que está más preparado para utilizar las tecnologías de Grid Edge, mientras que California es el país que más necesita las tecnologías de Grid Edge. Singapur, aunque todavía está relativamente preparada para la tecnología de borde de red, actualmente necesita menos tecnología de Grid Edge.

Las razones de las diferencias entre estas regiones se examinan en detalle en las secciones siguientes.

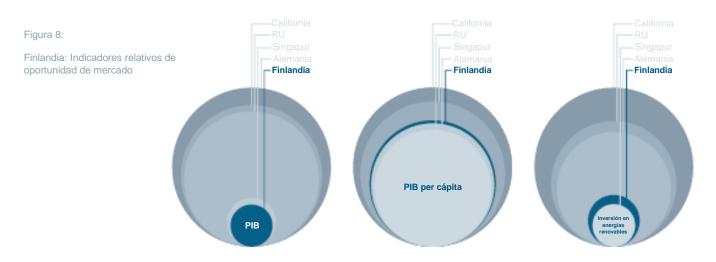


3.1 Finlandia Análisis detallado

Figura 7:
Finlandia: puntaje de necesidad y preparación de Grid Edge



Finlandia ha mostrado su voluntad de impulsar una transición energética limpia a través de sus compromisos y objetivos establecidos en el Plan Integrado de Energía y Clima a partir de diciembre de 2019 por el Ministerio de Economía y Empleo finlandés [3]. Por lo tanto, no es una gran sorpresa que Finlandia ocupe un lugar destacado en términos de preparación y necesidad de borde de red, liderando todas las regiones examinadas en cuanto a preparación, como se muestra en la Figura 7.





En cuanto a la preparación para las innovaciones en Grid Edge, Finlandia muestra una preparación bastante equilibrada en las cuatro dimensiones, con una mayor preparación política y técnica en comparación con las otras regiones de interés, como se muestra en la figura 9.

Desde el punto de vista social, Finlandia muestra una alta aceptabilidad, por detrás sólo de Singapur. Esto se podría deber a la gran confianza de los finlandeses en la tecnología, las empresas y su gobierno.

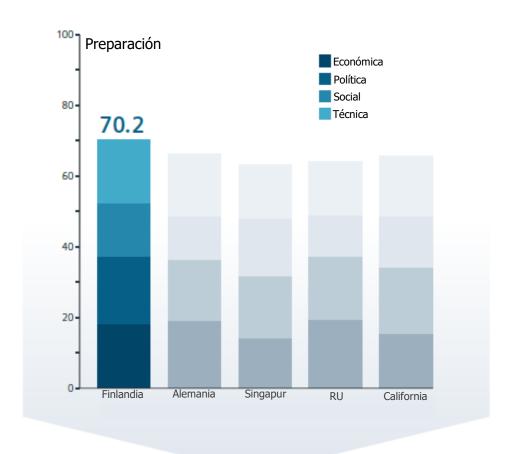
Sin embargo, Finlandia va por detrás de otras regiones de interés en lo que respecta a los costos de EV. La asequibilidad en Finlandia todavía se puede considerar bastante alta, ya que se beneficia de una paridad de poder adquisitivo generalmente alta. Al igual que Alemania y el Reino Unido, Finlandia tiene un gasto energético relativamente más elevado entre las regiones de interés, lo que limita la capacidad de pago de la sociedad. No obstante, Finlandia está bien preparada en lo que respecta a las competencias necesarias para participar en las soluciones de Grid Edge. Encabezan todas las regiones de interés en cuanto a competencias digitales de la población, así como en cuanto a disponibilidad de científicos e ingenieros.

En cuanto a la preparación técnica, Finlandia, al igual que el resto de las regiones de interés, muestra un gran potencial para incluir soluciones de borde de red en términos de la infraestructura de red física existente, debido a las elevadas tasas de fiabilidad y electrificación. Sin embargo, donde Finlandia destaca es en su infraestructura de comunicaciones. Presenta una destacada penetración de teléfonos inteligentes, así como una sólida cobertura de Internet y GSM, aunque con carencias en términos de ancho de banda promedio, similares a las del Reino Unido y Alemania. Lo más significativo, y en contraste con casi todas las regiones de enfoque excepto Singapur, es que Finlandia ha hecho un progreso significativo en la penetración de los medidores inteligentes después de intensificar su implementación tras el Decreto Gubernamental de 2009 sobre la Determinación del Suministro de Electricidad y Medición (66/2009) [4] y alcanzar un nivel de penetración del 97.6 % en 2017 [5]. Finlandia también está planeando ya el despliegue de medidores inteligentes de segunda generación [6], mientras que otros países siguen luchando por desplegar medidores inteligentes por primera vez. Dado que los medidores inteligentes son una condición previa importante para la gestión y el traslado eficientes de la carga, la integración de los medidores inteligentes tendrá que desempeñar un papel vital en la transición hacia la energía limpia y la implementación de tecnologías de borde de red, y Finlandia está a la vanguardia en este aspecto.

Desde el punto de vista económico, Finlandia ha avanzado en su preparación para las soluciones de Grid Edge, especialmente en lo que se refiere a los mercados pertinentes, ya que cuenta con un plan para un mercado de flexibilidad [7] y fija el precio del carbono en 69.5 USD/tCO2e [8], sólo por detrás de Suiza en este aspecto. Como era de esperar, y como es el caso de todas las regiones estudiadas, Finlandia también demuestra una estabilidad económica comparativamente alta, lo que la convierte en un lugar favorable para invertir en el despliegue o la ampliación de las tecnologías de Grid Edge.

Desde el punto de vista político, Finlandia obtiene un puntaje ligeramente superior en comparación con las otras regiones de interés, ya que es un país generalmente estable desde el punto de vista político y obtiene altas calificaciones en los índices de independencia del poder judicial y de percepción de la corrupción. Finlandia es la única de las regiones objetivo que no incentiva la cogeneración después de que las correspondientes tarifas de alimentación se eliminaran en 2017 [3] y, por tanto, muestra una menor preparación para Grid Edge. Finlandia tampoco tiene un estándar de cartera de renovables y no hay medición neta, lo que reduce la disponibilidad de Grid Edge. Esto no significa necesariamente que Finlandia se quede muy atrás en los esfuerzos para una transición energética limpia, pero sí deja margen de mejora. A pesar de estos déficits, Finlandia está comparativamente bien preparada desde el punto de vista político, ya que lidera todas las regiones de interés en cuanto al porcentaje del PIB que se invierte en energías renovables y cuenta con incentivos para EV y la eficiencia energética, así como para la eficiencia de los edificios.

Figura 9: Puntaje de preparación para Grid Edge: Finlandia







Finlandia también se sitúa en una posición bastante alta en lo que respecta a sus necesidades de red, por detrás de California, Alemania y el Reino Unido, pero con una necesidad considerablemente mayor que la de Singapur, consulte la figura 10. Esto se debe principalmente a que Finlandia muestra una necesidad futura de flexibilidad considerablemente mayor, mientras que su necesidad actual de flexibilidad es más modesta. Esta necesidad futura se deriva principalmente del elevado precio del carbono en Finlandia, que indica un impulso hacia las fuentes de energía renovables y la electrificación de diferentes sectores. Esta ambición se refleja también en los compromisos políticos de Finlandia, que ha definido objetivos para las energías renovables, así como para la calefacción y la refrigeración y la energía renovable, y ha permitido la licitación y el comercio de certificados de energía renovable (CER). Cabe destacar que, a pesar de que tanto Finlandia como Alemania están integradas en la UE, Finlandia ha mostrado una mayor ambición, principalmente en lo que respecta a sus objetivos de NDC. En consonancia con estos resultados, Finlandia también tiene una cuota de generación renovable comparativamente alta, con un 57 % en 2030 [9], sólo por detrás del Reino Unido y California de los lugares de estudio (64.4 % y 60 % respectivamente [9]).

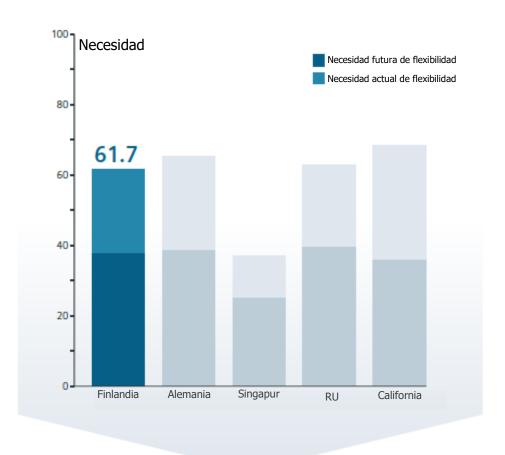
A pesar de estas ambiciones y objetivos, al igual que en otras regiones examinadas, la necesidad actual de flexibilidad de Finlandia es notablemente inferior a su necesidad futura. Finlandia tiene una demanda máxima de energía significativamente más alta y, en comparación con todas las demás regiones examinadas, también tiene cantidades comparativamente altas de energía eólica y nuclear no suministrable. En general, Finlandia muestra menos generación pura no suministrable que otras regiones de interés, en gran parte debido a la menor cantidad de energía solar fotovoltaica no suministrable. No obstante, Finlandia tiene potencialmente un gran desajuste entre la generación y la demanda y, por ello, tiene una mayor necesidad actual de tecnologías de Grid Edge.

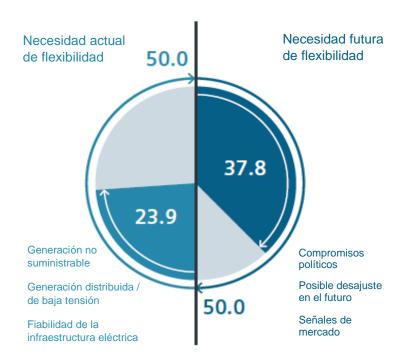
Una mirada más profunda a la estructura de la combinación de energías renovables de Finlandia proporciona una visión más diferenciada sobre el origen de este potencial desajuste entre la generación renovable y la demanda. El Ministerio de Economía y Empleo finlandés prevé para 2020 que alrededor del 79 % del consumo total de energía final bruta renovable procederá de fuentes de bioenergía, frente a un 6 % combinado de energía solar y eólica, principalmente debido a las grandes cantidades de calefacción con biocombustibles y residuos biológicos procedentes de los bosques de Finlandia [3]. Y al mismo tiempo, según datos de la IEA, la mayor parte de la electricidad renovable generada procede de fuentes hidroeléctricas y biológicas [10]. Se prevé que esto no cambie significativamente, ya que el Ministerio de Economía y Empleo finlandés prevé sólo un pequeño aumento de la energía eólica y sólo un ligero aumento de la energía solar [3].

Finlandia ofrece un caso bastante inusual en términos de flexibilidad, con una elevada participación en la generación de energía renovable, pero con menos fuentes de energía solar y eólica no suministrables. El desajuste de Finlandia entre la generación y la demanda se debe principalmente a que cuenta con una parte considerable de cogeneración instalada a nivel distribuido que utiliza biorresiduos renovables; sin embargo, ésta puede tener una capacidad de despacho limitada porque la generación de electricidad dependerá en parte de la demanda de calefacción. Esto da lugar a una cantidad considerable de generación distribuida de baja tensión en general y, por tanto, a una mayor necesidad de soluciones de Grid Edge para apoyarla. Esto podría ser típico de los países que tienen una disponibilidad considerable de recursos de biomasa o de biorresiduos y que, además, experimentan una gran demanda de calefacción.



Figura 10:
Puntaje de la necesidad de Grid Edge: Finlandia

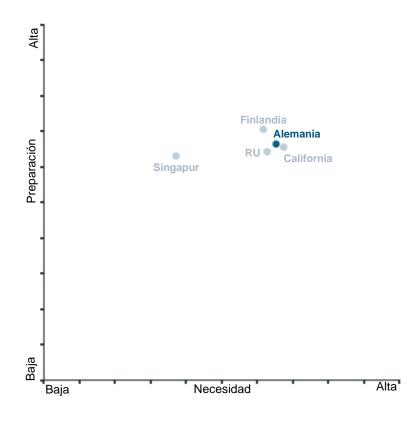




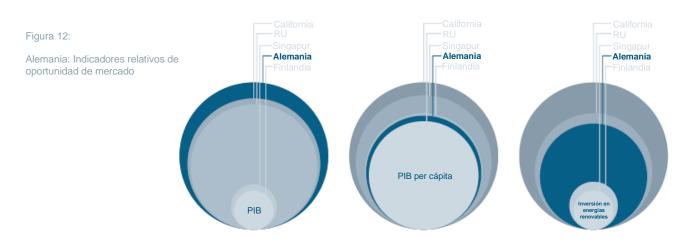


3.2 Alemania Análisis detallado

Figura 11:
Alemania: visión general de la región de enfoque



Alemania, que en su día fue pionera en el despliegue de energías renovables, ha carecido en los últimos años de ambición en la expansión de las energías renovables, así como de medidas relacionadas para la descarbonización efectiva de la economía. Sin embargo, Alemania sigue estando a la cabeza de los países con mayor preparación y necesidad de Grid Edge, como se muestra en la figura 11.





En cuanto a la preparación de Alemania para la innovación en Grid Edge, como se muestra en la figura 13, existen algunos déficits de infraestructura en comparación con las otras regiones de interés. Alemania sigue rezagada en el despliegue de medidores inteligentes, ya que solo con la declaración de mercado del 31 de enero de 2020, la Oficina Federal de Seguridad de la Información (BSI) dio el visto bueno para el despliegue de medidores inteligentes en Alemania [11]. Como parte de este proceso, los pequeños consumidores con un consumo anual de energía de más de 6,000 kWh van a ser equipados sucesivamente con un medidor inteligente en la próxima década [12]. Los medidores inteligentes son una condición previa importante para la gestión y el cambio de carga eficientes. Otro factor es que el ancho de banda promedio de Internet sólo ocupa una posición intermedia entre los lugares de destino, lo cual es necesario para una transmisión de datos fiable en una futura red eléctrica inteligente. La infraestructura de la red eléctrica alemana está asociada a una alta fiabilidad, lo que afecta positivamente a la preparación para Grid Edge.

Las cargas flexibles descentralizadas también son muy importantes para la integración de las tecnologías de Grid Edge. Con una penetración de mercado baja, pero creciente de las bombas de calor [13] y el EV [14], Alemania cuenta con cantidades moderadamente crecientes de cargas flexibles descentralizadas. Esto también se refleja en los índices de penetración de hogares inteligentes y de ingresos, que son bajos o promedio, en comparación con las ubicaciones objetivo. Debido al clima templado de Europa central, Alemania tiene una penetración muy baja de AC, que podría ser una fuente potencial de carga flexible significativa en un mundo que se calienta.

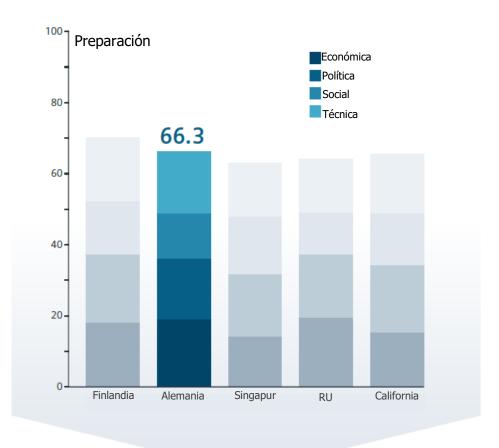
A pesar de la mencionada menor ambición en los objetivos de reducción de emisiones en los últimos años, Alemania ofrece múltiples incentivos para el despliegue de las energías renovables (tarifa de alimentación, licitación, comercio de certificados de energía renovable y otros), lo que afecta positivamente a la expansión de las energías renovables y las medidas de eficiencia y, por lo tanto, a la disposición política para la innovación de Grid Edge.

A escala mundial, Alemania tiene una economía sana y presenta unos fundamentos económicos sólidos y unas barreras de mercado bajas, con un PIB per cápita decente y una paridad de poder adquisitivo a nivel internacional, así como entre los lugares de destino. Además, Alemania tiene un alto grado de liberalización del mercado de la electricidad y un entorno de proveedores de electricidad competitivos, lo que puede desencadenar servicios innovadores, una vez que existan modelos de negocio atractivos. Sin embargo, en términos de mercados relevantes, Alemania se queda atrás en los mercados de flexibilidad, ya que el diseño del mercado está todavía en fase de investigación [15], en contraste con el Reino Unido, Singapur y Finlandia.

Desde el punto de vista social, Alemania muestra un déficit menor en la aceptación de la nueva tecnología de Grid Edge entre las cinco regiones de interés, según su puntaje en la confianza en la tecnología, la confianza en las empresas y la confianza en el gobierno. Además, Alemania se encuentra entre los países más caros en cuanto a gasto energético, lo que disminuye la capacidad de pago de las soluciones de Grid Edge dentro de la sociedad. Al mismo tiempo, los costos de EV son relativamente bajos en Alemania, lo que podría resultar favorable para avanzar en la transición limpia e implementar tecnologías de Grid Edge.



Figura 13: Puntaje de preparación de Grid Edge: Alemania





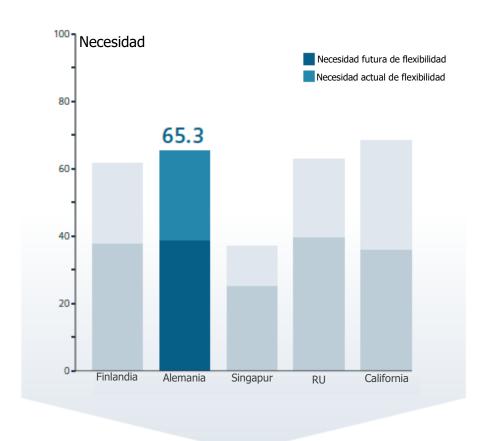


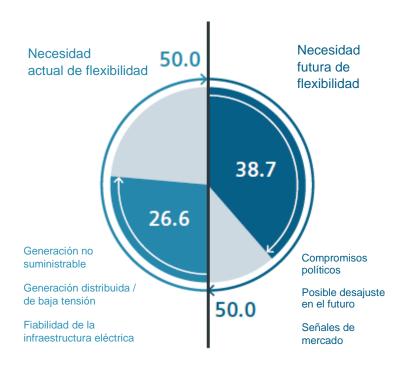
En cuanto a la necesidad de innovación en Grid Edge de Alemania, tal y como se muestra en la figura 14, Alemania muestra una importante necesidad de flexibilidad tanto ahora como en el futuro. La alta fiabilidad actual de la red eléctrica indica que las innovaciones no son inmediatamente necesarias. Además, Alemania revela un pico de demanda de energía por generación instalada comparativamente bajo, lo que indica que la infraestructura es actualmente capaz de abastecer la demanda de electricidad incluso en las horas pico. A pesar del limitado potencial renovable de la energía solar y eólica, Alemania presenta una participación relativamente alta de energía eólica instalada, así como de energía solar fotovoltaica. Las inversiones respectivas en sistemas de energía renovable son importantes. Las altas inversiones y las altas cuotas de energías renovables aumentan la necesidad actual de flexibilidad y, por lo tanto, de innovación en Grid Edge.

Todavía hay margen de mejora en lo que respecta a los compromisos políticos vinculantes de protección del clima, que tendrían un efecto potenciador de las futuras necesidades de flexibilidad. La decisión de Alemania de eliminar la energía nuclear a corto plazo y el carbón a medio y largo plazo, así como los objetivos de calor renovable y de vehículos eléctricos, impulsan las futuras necesidades de flexibilidad y un futuro desajuste de la oferta y la demanda. Como señal de mercado potencialmente acompañante, el sistema de comercio de emisiones de dióxido de carbono (ETS) en Europa, así como el precio nacional del carbono previsto en Alemania, tienen precios bajos y, por tanto, sólo ejercen una ligera presión en la dirección de una transformación baja en carbono.



Figura 14:
Puntaje de la necesidad de Grid
Edge: Alemania

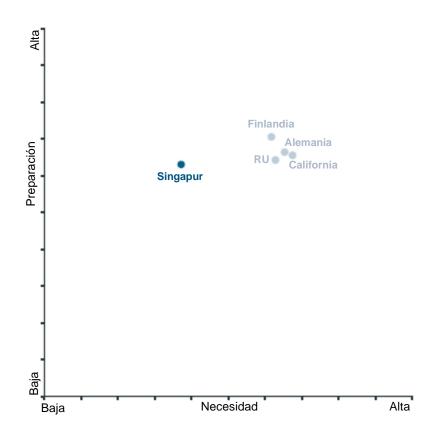






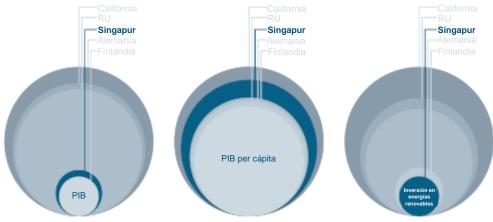
3.3 Singapur Análisis detallado

Figura 15:
Singapur: puntaje de necesidad y preparación de Grid Edge



Aunque Singapur presenta la menor necesidad de soluciones de Grid Edge de las cinco regiones de interés, sigue mostrando un nivel similar de preparación para desplegar tecnologías de Grid Edge, como se muestra en la Figura 15. Puede que la necesidad de Singapur de soluciones de Grid Edge no sea tan elevada en este momento, pero puede servir de ejemplo en términos de preparación para regiones similares.







La preparación de Singapur para desplegar soluciones de Grid Edge es muy similar a la de otras regiones de interés, como se muestra en la figura 17, y está por encima del promedio mundial.

Desde el punto de vista económico, Singapur obtiene el puntaje más bajo entre las regiones de interés. Tiene un mercado energético menos liberal y unas barreras de mercado generales más altas, potencialmente relacionadas con su tamaño de mercado relativamente pequeño. Sin embargo, la existencia de un mercado de flexibilidad demuestra que se están iniciando las transformaciones de mercado necesarias para aprovechar plenamente el potencial de las soluciones de Grid Edge.

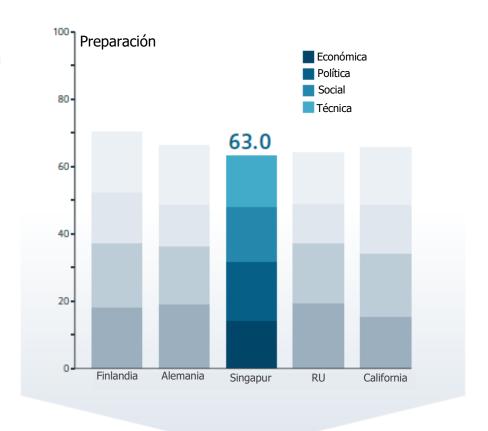
Desde el punto de vista político, las sólidas instituciones y la gobernanza de Singapur lo convierten en un lugar favorable para los inversores que se plantean desplegar o ampliar las tecnologías de Grid Edge. Sin embargo, la mayor parte de la inversión en energía renovable, flexibilidad y tecnología de Grid Edge está impulsada por el mercado privado. De las regiones de interés, Singapur es la que tiene menos incentivos gubernamentales para apoyar una transición energética limpia.

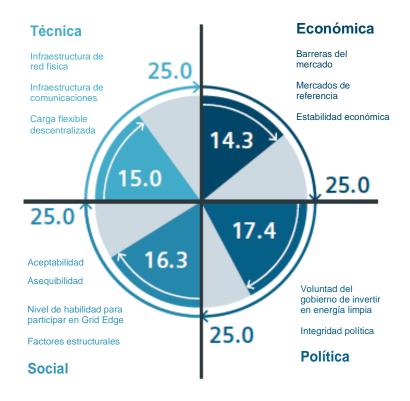
Socialmente, la sociedad de Singapur está bien preparada para el despliegue de soluciones de Grid Edge. Sus altos niveles de confianza en la tecnología, las empresas y el gobierno hacen que los ciudadanos de Singapur sean de los más abiertos a los cambios tecnológicos relacionados con el despliegue de Grid Edge. Gracias a los altos niveles de educación y a los conocimientos técnicos de la población, Singapur cuenta con una mano de obra preparada para instalar y mantener las soluciones de Grid Edge y con una población educada que puede aprender rápidamente a utilizar las tecnologías de Grid Edge. Singapur es un país relativamente próspero, pero los beneficios potenciales de la preparación se ven contrarrestados por una desigualdad relativamente alta y unos costos tecnológicos elevados.

Desde el punto de vista técnico, la sólida y fiable infraestructura de electricidad y comunicaciones de Singapur le permitirá desplegar y ampliar diversas tecnologías de Grid Edge. Junto con Finlandia, lidera la penetración de los medidores inteligentes. Sin embargo, actualmente tiene niveles muy bajos de carga flexible descentralizada en relación con las otras regiones de interés. Una carga flexible más descentralizada en el futuro podría aumentar las oportunidades y la necesidad de tecnologías de Grid Edge.



Figura 17:
Puntaje de preparación para Grid Edge: Singapur







Al igual que las demás regiones de interés, la necesidad de Singapur de soluciones para Grid Edge se debe más a las posibles necesidades futuras de flexibilidad que a las actuales. Sin embargo, tanto la necesidad actual como la potencialmente futura de flexibilidad en Singapur son menores que en los otros lugares analizados aquí.

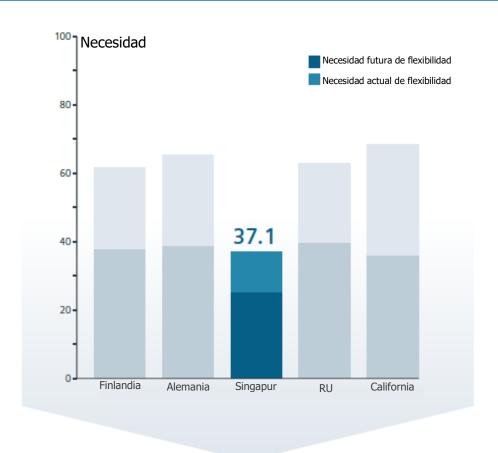
La menor necesidad actual de flexibilidad está impulsada por las infraestructuras. En la actualidad, el sistema eléctrico depende casi exclusivamente de la generación suministrable, lo que se traduce en una escasa demanda de flexibilidad adicional que podrían aportar las soluciones de Grid Edge. La gran confiabilidad de la infraestructura eléctrica de Singapur aumenta su preparación para el despliegue en Grid Edge, pero significa que no necesita soluciones en Grid Edge para ayudar a enfrentar un sistema menos confiable.

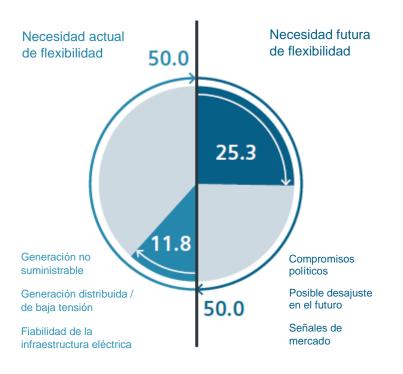
La necesidad futura de flexibilidad es más compleja. Singapur ha asumido varios compromisos políticos y ha introducido normativas que podrían aumentar su futura cuota de renovables y, por tanto, la futura necesidad de flexibilidad. Aunque esto aumenta la necesidad potencial de flexibilidad en el futuro y significa que Singapur puede necesitar más soluciones de Grid Edge en el futuro, éstas no son tan ambiciosas como en otras regiones de interés y todavía dejan espacio para mejorar los esfuerzos de Singapur hacia una transición energética limpia. Por ejemplo, aunque tiene un precio del carbono, el de Singapur no es tan alto como el de otras regiones de interés y, por lo tanto, puede no incentivar tanto las energías renovables en comparación con los combustibles fósiles. Del mismo modo, el plan de Singapur para un transporte más limpio incluye el objetivo de eliminar los vehículos con motor de combustión interna para 2040 [16]. Esto podría generar una mayor proporción de vehículos eléctricos, lo que podría aumentar la demanda y la necesidad de soluciones de Grid Edge. Sin embargo, no hay un objetivo específico para los vehículos eléctricos, lo que hace que el efecto sobre el sistema eléctrico y la necesidad de Grid Edge sean menos seguros.

Además, debido a su pequeña superficie, Singapur tiene poco margen para la generación de energías renovables a gran escala. Mientras Singapur siga confiando en las fuentes de energía suministrables y en los interconectores, es posible que no necesite tanta flexibilidad facilitada por Grid Edge como las otras regiones de interés.



Figura 18:
Puntaje de la necesidad de Grid Edge: Singapur





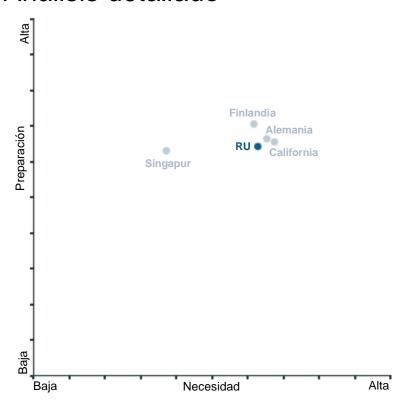


3.4

Reino Unido Análisis detallado

Figura 19:

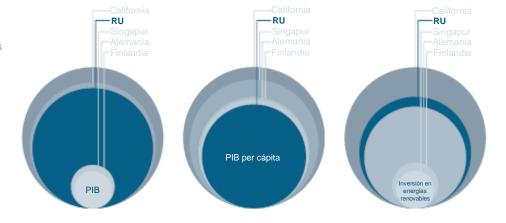
Reino Unido: puntaje de necesidad y preparación de Grid Edge



El Reino Unido fue la primera gran economía en aprobar una ley de emisiones netas cero [17]. El nuevo objetivo exige que todas las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan a cero en 2050, lo que supone un aumento de la ambición respecto al objetivo anterior de reducir las emisiones en al menos un 80 % respecto a los niveles de 1990. El "crecimiento limpio" es el núcleo de la estrategia industrial del Reino Unido, con una reducción de aproximadamente el 45 % de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2019 respecto a los niveles de 1990 [18]. Esto sitúa al Reino Unido entre los líderes tanto en preparación como en necesidad de tecnologías de Grid Edge, como se muestra en la Figura 19. El alto nivel de preparación del Reino Unido es un reflejo de la alta preparación política y económica. El Reino Unido tiene una elevada disposición a invertir por parte del gobierno, sólo por detrás de California, y un alto grado de liberalización del mercado.

Figura 20:

Reino Unido: Indicadores relativos de oportunidad de mercado





Desde el punto de vista económico, la preparación del Reino Unido para Grid Edge, como se muestra en la Figura 21, se ve favorecida por la presencia de agregadores, la existencia de un precio del carbono y la disponibilidad de incentivos para la electrificación de diferentes servicios.

En cuanto a los aspectos sociales, el Reino Unido tiene una asequibilidad energética relativamente baja, con alrededor del 10 % de los hogares considerados pobres en combustible en 2018 [19] y una prosperidad más baja en comparación con otras regiones de enfoque. Aunque esto reduce la capacidad de comprar e instalar soluciones de Grid Edge, sigue estando al alcance de la mayoría de las otras regiones de interés. Sin embargo, donde el Reino Unido obtiene el puntaje más bajo de las regiones de interés es en las habilidades para instalar y mantener las tecnologías de Grid Edge, así como para utilizar y comprometerse con las tecnologías de Grid Edge. En este sentido, el Reino Unido se queda atrás tanto en la disponibilidad de científicos e ingenieros como en las competencias digitales de la población. El Reino Unido tiene la menor aceptación de las nuevas tecnologías entre las regiones objetivo, con una baja confianza en el gobierno, las empresas y la tecnología, lo que hace que esté menos preparado para la ampliación de las soluciones de Grid Edge.

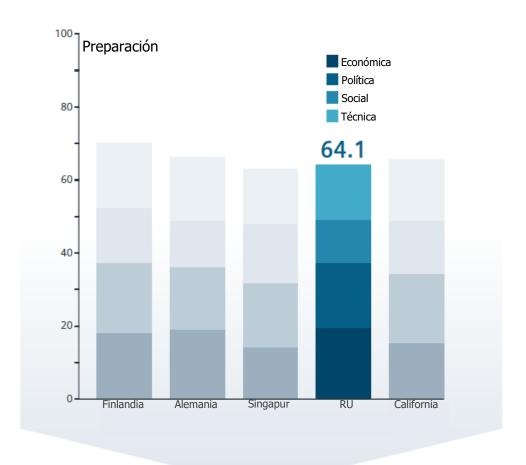
En cuanto a las políticas, el gobierno del Reino Unido está muy dispuesto a invertir en energías limpias, sólo superado por California. La instalación de sistemas fotovoltaicos se vio favorecida por los sistemas de tarifas de alimentación en el inicio de la transición del sistema energético en 2010; sin embargo, el esquema ya no está disponible para los nuevos participantes [20]. Aunque esto reduce los incentivos para que los hogares instalen sistemas fotovoltaicos, se espera que la importante reducción del costo de los sistemas fotovoltaicos lo compense. El Reino Unido también tiene incentivos para la compra de vehículos eléctricos de batería, la mejora de la eficiencia energética y la cogeneración. Existen incentivos para mejorar la eficiencia energética de los hogares y también planes para mejorar la eficiencia energética como elemento clave en los futuros ciclos de inversión.

En los aspectos técnicos que indican la preparación del país, el Reino Unido y Singapur tienen niveles de preparación similares. El Reino Unido tiene puntajes relativamente bajos en cargas flexibles descentralizadas e infraestructura de comunicaciones entre las regiones de interés. Aunque el Reino Unido tiene una gran cobertura de Internet, GSM y teléfonos inteligentes, la penetración de los medidores inteligentes y el ancho de banda medio de la conexión a Internet se encuentran entre los más bajos de las regiones objetivo. Menos del 30 % de los hogares tienen medidores inteligentes y las instalaciones van con mucho retraso respecto a las fechas previstas [21].

La disposición de una región a adoptar Grid Edge es mayor si la cantidad de carga flexible descentralizada existente es mayor. En la actualidad, la penetración de las bombas de calor en el Reino Unido es muy baja; sin embargo, existen importantes incentivos para instalar más bombas de calor, sobre todo en las casas que están fuera de la red de gas. La penetración de los aparatos de aire acondicionado también es baja debido al clima relativamente fresco en verano. La electrificación de otros activos en el Reino Unido, especialmente la calefacción, se ve afectada por el bajo costo por unidad del gas en comparación con la electricidad, que es casi un tercio del costo [22]. Sin embargo, la supresión de la tarifa de alimentación ha aumentado el autoconsumo de la generación fotovoltaica, lo que ha dado lugar a un incremento del número de baterías domésticas instaladas. Se espera que esta tendencia continúe, aumentando así la preparación futura del país para Grid Edge. Esto sirve de ejemplo para que las medidas inversas sean a veces un medio para fomentar la aplicación de soluciones de Grid Edge y la transición a la energía limpia.

Figura 21:

Puntaje de preparación para Grid Edge:
Reino Unido



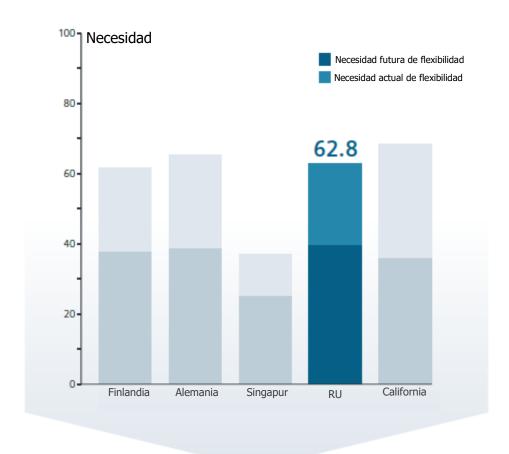


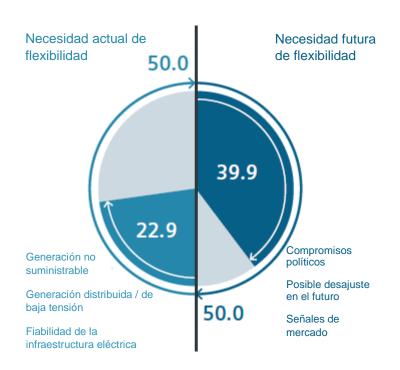


El Reino Unido tiene la mayor necesidad de flexibilidad futura entre las áreas de interés y una baja necesidad de flexibilidad actual, como se muestra en la Figura 22. Cuanto mayor sea la fiabilidad de la red eléctrica existente, menor será la necesidad de flexibilidad actual. La red actual del Reino Unido tiene una alta fiabilidad, sólo superada por la de Singapur entre las regiones de interés. Aunque el Reino Unido tiene una demanda actual de electricidad relativamente alta, la disponibilidad de cargas no suministrables es una de las más bajas, sólo superada por Singapur, lo que se manifiesta en una menor necesidad inminente y actual. La necesidad futura se ve alimentada por el objetivo jurídicamente vinculante de emisiones netas cero para 2050 y la prohibición de los combustibles fósiles y los vehículos con motor de combustión interna, lo cual genera el mayor compromiso político entre las áreas de interés. La presencia de señales de mercado en el Reino Unido sólo se ve superada por Finlandia, lo que era de esperar en un país que fue la primera gran economía en aprobar una ley de emisiones netas cero.



Figura 22:
Puntuación de la necesidad de Grid Edge:
Reino Unido





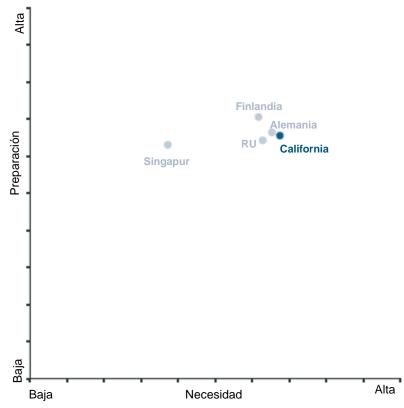


3.5

California, Estados Estado Análisis detallado

Figura 23:

California: puntaje de necesidad y preparación de Grid Edge

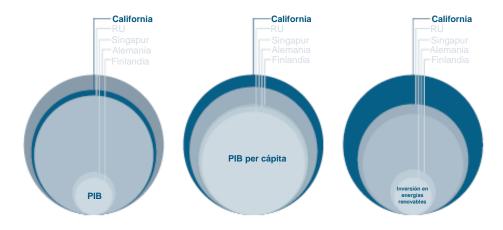


California presenta la mayor necesidad de todas las regiones de enfoque, como se muestra en la Figura 23, pero también está relativamente preparada para las soluciones de Grid Edge, por lo que está bien situada para abordar estas necesidades.

California es también una de las regiones de enfoque más progresista en términos de política energética, ya que ha aprobado múltiples leyes relacionadas con la generación renovable [23], [24] y ha realizado importantes inversiones en energía solar. Lo más destacado es que se ha fijado como objetivo un futuro energético sin emisiones de carbono para el año 2045, y las tecnologías de vanguardia de la red serán esenciales para lograrlo.

Figura 24:

California: Indicadores de oportunidades de mercado relativas





La disposición a desplegar estas tecnologías de Grid Edge está más influenciada por los vehículos eléctricos, la liberalización del mercado y la confianza en la tecnología (en orden de importancia). En California, la participación en el mercado de los vehículos eléctricos es de aproximadamente el 1.5 %, pero el costo absoluto de un vehículo eléctrico es alto. Teniendo en cuenta que California también está muy bien valorada en términos de paridad de poder adquisitivo, este mayor costo de los vehículos eléctricos no debería ser un impedimento en el futuro. El grado de liberalización del mercado en California no favorece las tecnologías de Grid Edge, pero un número relativamente grande de proveedores de electricidad fomentará la innovación y, a su vez, las tecnologías de Grid Edge. Aunque California alberga algunas de las mayores empresas tecnológicas del mundo, la confianza en la tecnología es menor que en otras regiones de interés. Esto puede atribuirse a la sensación generalizada de que las empresas tecnológicas van a eliminar más puestos de trabajo de los que crean y también a que están poco reguladas.

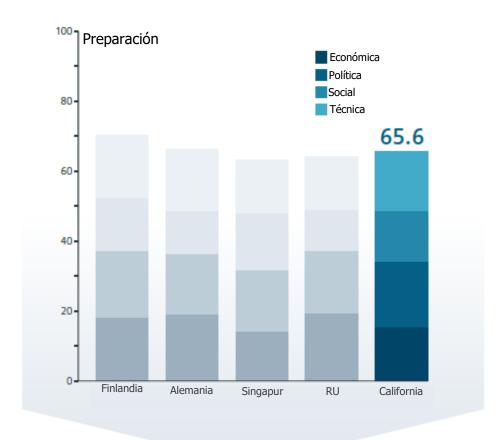
Los factores técnicos que desempeñan un papel importante a la hora de decidir si una región está preparada para Grid Edge son la inversión en energías renovables, los niveles de penetración del almacenamiento en baterías, los contadores inteligentes y la cobertura de la red eléctrica. California obtiene un alto puntaje en estos cuatro factores.

Los factores no técnicos también desempeñan un papel importante en la preparación de Grid Edge. California obtiene buenos puntajes en cuanto a la independencia judicial, la percepción de la corrupción y las habilidades digitales de la población. Una alta disponibilidad de científicos e ingenieros en la fuerza de trabajo significa que California puede manejar un aumento en la penetración de Grid Edge. Como ya se han adoptado muchos hogares inteligentes, con la capacidad de cambiar a redes inteligentes, esto resultará vital cuando se produzca la transición a una generación cada vez más distribuida.

California está relativamente avanzada en términos de política energética y se ha comprometido públicamente a mantener los objetivos que establece el Acuerdo de París, a pesar de la decisión de Estados Unidos de abandonarlo en 2017 [25]. Así lo demuestran los numerosos objetivos en materia de energías renovables, los incentivos a la eficiencia, la combinación de calor y electricidad y la calefacción y refrigeración renovables. Esto, junto con el gran número de centrales eléctricas virtuales, hace que California sea una región atractiva en términos de preparación para Grid Edge, como se muestra en la Figura 25.



Figura 25:
Puntaje de preparación para Grid Edge: California







California tiene los niveles más altos de energía fotovoltaica de bajo voltaje en las regiones de interés. El nivel de la energía fotovoltaica de baja tensión es crucial cuando se habla de la necesidad de un borde de red, ya que el aumento de los niveles de energía fotovoltaica de baja tensión puede causar problemas de estabilidad. Sin embargo, se pueden contrarrestar mediante el uso de los recursos de Grid Edge. En California, la diferencia entre la demanda y la generación renovable se convertirá en un problema importante, ya que las grandes fluctuaciones de la energía fotovoltaica pueden requerir el envío de costosas centrales eléctricas. Por lo tanto, además de las razones de seguridad, existe un importante incentivo de costos para el despliegue de tecnologías de borde de red en esta región.

La eólica representa 6 GW [26] y la solar 27 GW [27] de la capacidad de generación instalada en California, pero la capacidad en esta región tiene que aumentar a gran escala para alcanzar el objetivo de California de una red eléctrica 100 % renovable para 2045. Esto se verá respaldado por una cantidad relativamente alta de disponibilidad solar y eólica. Los altos niveles de energía nuclear inflexible pueden causar problemas en algunas regiones, pero con una capacidad nuclear de alrededor de 2.24 GW [28], que es baja en relación con el tamaño de California, no se espera que esto sea un problema.

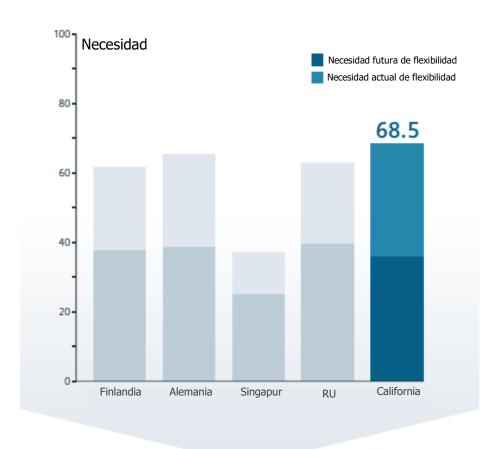
En California, hay algunas tendencias importantes en términos de confiabilidad. Aunque el número promedio de interrupciones es bajo, la duración promedio de las interrupciones es la más alta entre las áreas de interés. Esto significa que, aunque la frecuencia de los cortes es baja, si se producen, pueden durar mucho tiempo. Esto se puede atribuir a que California se ve afectada por incendios forestales y catástrofes naturales que obligan al operador del sistema a desconectar partes de la red. Las tecnologías de Grid Edge, especialmente las microrredes y la generación distribuida, mejorarían definitivamente esta situación.

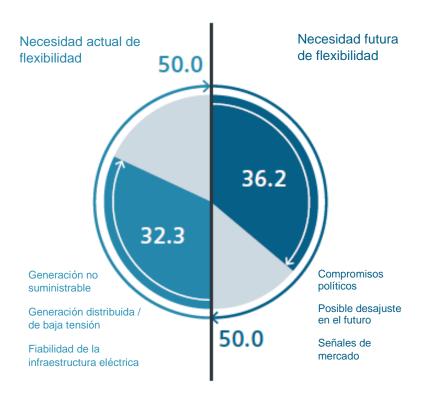
Los objetivos relacionados con los vehículos eléctricos y una reducción de las emisiones del 40 % en los próximos diez años

[29] es probable que requieran el despliegue de tecnologías de Grid Edge. Por ejemplo, la recarga incontrolada de vehículos eléctricos puede provocar que un gran número de vehículos se enciendan en masa, lo que requerirá la puesta en marcha de un mecanismo de programación o coordinación para evitarlo. El objetivo de reducción de emisiones también ejerce una mayor presión sobre el aumento de la capacidad de las energías renovables, ya que sitúa un objetivo palpable a corto plazo, además de la visión a largo plazo de un sistema de electricidad neta cero.

California representa una región que va a necesitar cada vez más penetración en Grid Edge en los próximos años, ya que está entre los líderes de los lugares que pasan a un sistema de energía limpia. Sin embargo, está bien situada para facilitar esta transición debido al alto nivel de preparación de Grid Edge, como se muestra en la figura 26.

Figura 26: Puntuación de la necesidad de Grid Edge: California







3.6

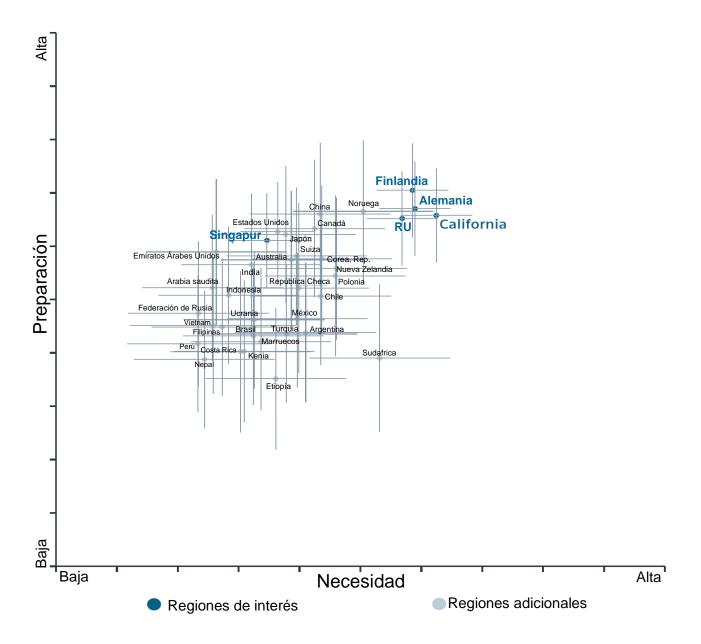
Figura 27:

Necesidad relativa de los bordes de la red y preparación para las regiones seleccionadas, donde las barras de error representan la incertidumbre

Aplicación del índice a múltiples regiones

La aplicación del Índice a un conjunto más amplio de regiones sitúa a las regiones objetivo en un contexto global y ofrece una visión de la situación de una variedad de otras geografías, además de identificar lugares que pueden ser de interés para un análisis más profundo.

La necesidad y la preparación para las regiones adicionales se muestran en gris en la Figura 27. Las cinco regiones originales se muestran en azul para resaltar su ubicación comparativa.





La figura 27 muestra que, de las regiones adicionales, Noruega es la que está más preparada y Corea del Sur es la que más necesita la tecnología de Grid Edge.

Fuera de las regiones de interés y de Noruega, China y Canadá también reportan un alto grado de preparación para las tecnologías de Grid Edge, mientras que Etiopía, Nepal y Sudáfrica están entre los menos preparados. Además de varias de las regiones de interés, los países con mayor necesidad de tecnologías de Grid Edge son Noruega, Corea del Sur y Sudáfrica. En cambio, se considera que Rusia, Perú y Nepal son los que menos necesitan, en la actualidad.

Noruega, China y Canadá, que muestran una gran necesidad y preparación para la innovación en Grid Edge, pueden destacarse como candidatos prometedores para una mayor investigación y un análisis detallado.

Hay que tener en cuenta que todas las conclusiones se basan en una imagen instantánea en el tiempo y en relación con las demás regiones consideradas.

4

Principales mecanismos políticos

En el caso de muchos países que actualmente no obtienen una puntuación alta en cuanto a necesidad o preparación de soluciones de Grid Edge, los gobiernos y las partes interesadas del sector energético podrían preguntarse qué podría hacer que aumentara la necesidad de soluciones de Grid Edge, cómo podrían mejorar la preparación de Grid Edge en este lugar o cómo abordar las necesidades existentes de soluciones de Grid Edge. Los responsables políticos pueden plantear estas preguntas para poder actuar y cumplir sus objetivos; las empresas de energías limpias querrán saber para poder reducir las barreras, implementar la tecnología y trabajar con el gobierno; y la industria querrá entender los cambios que se avecinan para poder diversificar su negocio y seguir siendo relevante.

La necesidad de tecnología de Grid Edge está fuertemente influenciada por la necesidad de flexibilidad del sistema energético de la región. Esta necesidad de flexibilidad se deriva de la creciente presencia de la generación de energía renovable. Incentivar la capacidad de generación de energía renovable y comprometerse a mitigar el cambio climático podría aumentar la necesidad de soluciones de Grid Edge de una región.

A diferencia de las centrales eléctricas de combustibles fósiles, parte de la generación renovable puede ser inflexible, limitada por los recursos naturales y las condiciones meteorológicas. Por lo tanto, los sistemas energéticos deben adaptarse y ser más flexibles. Los resultados de la investigación internacional de los últimos años identifican explícitamente la capacidad del lado de la demanda para reaccionar de forma flexible a las fluctuaciones de la generación de energía como un elemento importante para el éxito de la transición a la energía limpia [30]. La demanda flexible puede adoptar muchas formas, como las baterías, la gestión de la demanda y la flexibilidad operativa para los consumidores industriales y comerciales, el comportamiento adaptativo del consumidor o la carga inteligente de un vehículo eléctrico. Las infraestructuras también pueden desempeñar un papel importante en el aumento de la flexibilidad, a través de las interconexiones y la ampliación de la red, las microrredes y los activos conectados a la red de distribución. Gran parte de esta flexibilidad la permite la tecnología de Grid Edge, de ahí la gran necesidad de soluciones de Grid Edge en los sistemas más dependientes de la generación de energía renovable. El aumento de la generación renovable va unido al cumplimiento de los objetivos de emisión de gases de efecto invernadero. Las políticas que fomentan cualquiera de las dos cosas tendrán un impacto significativo en la necesidad de Grid Edge.

Mejorar la preparación de una región para Grid Edge es especialmente importante en lugares donde hay una gran necesidad y una baja preparación, como en Sudáfrica. En los lugares en los que se ha detectado una mayor necesidad de Grid Edge, Grid Edge debería ser capaz de marcar una diferencia positiva en el sistema energético; sin embargo, la falta de preparación actúa como una barrera.

En este sentido, existen tres mecanismos clave para mejorar la preparación de una región para la tecnología de Grid Edge:

Introducción de incentivos para las tecnologías de energía limpia.

La asignación de fondos del erario público a las tecnologías de energía limpia mejora la preparación política, social y técnica al mostrar apoyo político, mejorar la aceptación social y la capacidad de pago de los consumidores (residenciales, comerciales e industriales) y aumentar potencialmente la carga flexible descentralizada. Gracias a estos incentivos, se reduce la barrera económica, lo que permite modelos de negocio que de otro modo no serían viables, y propicia un aumento de la adopción de la tecnología. Esto, a su vez, se traduce en potenciales economías de escala y reducciones de costos en la tecnología, como en el caso de la energía solar en los techos. Además, a medida que la tecnología se convierte en algo habitual, la sociedad se familiariza con ella y la acepta. Esto puede dar lugar a un ciclo de retroalimentación positiva y a la rápida adopción de una tecnología, lo que suele verse como una curva en S en los mercados emergentes.

Introducción de mercados de flexibilidad y de carbono.

Estos mercados trabajan para mejorar la preparación económica. Dar un valor a la flexibilidad (por ejemplo, cambiar la demanda de energía de los consumidores en el tiempo) animará a los actores residenciales, comerciales e industriales a invertir en las tecnologías y los activos necesarios para proporcionar flexibilidad a los servicios. Muchas de estas soluciones funcionarán en Grid Edge. La existencia de un mercado de carbono mejora la viabilidad económica de las soluciones de borde de red en comparación con sus respectivas contrapartes basadas en los combustibles fósiles. Para el sistema en su conjunto, se considera que la existencia de un mercado de carbono tiene una importancia significativa para la preparación económica.

Desarrollo de vías políticas para proporcionar una infraestructura de comunicaciones fiable y segura a todos los residentes.

La presencia de una infraestructura de comunicaciones amplia y fiable mejora la preparación técnica de una región. Será necesaria una sólida infraestructura de comunicaciones para coordinar y habilitar la red de actores descentralizados y distribuidos en Grid Edge. Los medidores inteligentes desempeñarán un papel fundamental en la comprensión de la demanda y la flexibilidad.

Conclusión

En este artículo técnico se define un índice que evalúa la necesidad y el grado de preparación de las tecnologías de borde de red en un conjunto de regiones. Las soluciones de Grid Edge son un componente crucial para ayudar a integrar las fuentes de energía renovables en el sistema energético y mitigar el cambio climático. Este índice está diseñado para que los responsables políticos y las empresas puedan (i) identificar la necesidad y el estado de preparación de una región en la actualidad, lo que resulta útil para determinar dónde implantar la tecnología, y (ii) destacar qué medidas se pueden tomar para mejorar la preparación de una región para la tecnología de Grid Edge. Esto es especialmente importante para las regiones que necesitan Grid Edge pero que se ven obstaculizadas por la falta de preparación para ello. Los incentivos para las tecnologías limpias, la introducción de mercados de flexibilidad y de carbono, y el desarrollo de vías políticas para una infraestructura de comunicaciones fiable y segura son los principales mecanismos para mejorar la preparación de una región.

El índice se aplicó a 36 lugares. De las cinco regiones de interés, Finlandia es el país más preparado para Grid Edge, mientras que California es la región más necesitada. El Reino Unido y Alemania les siguen de cerca, con una preparación y una necesidad ligeramente superiores a las del Reino Unido. Además de estos lugares, países como China, Canadá y Noruega parecen lugares prometedores para el despliegue de la tecnología de red. Sudáfrica es un buen ejemplo de un país que necesita mucho la tecnología de Grid Edge, pero que aún no está preparado para ella. Los lugares como éste se beneficiarán de la consideración de los mecanismos políticos identificados.



6

Apéndice

La tabla 1 incluye todos los indicadores que se incluyen en el índice de necesidad y preparación de Grid Edge, si están correlacionados positiva o negativamente con los puntajes finales del índice, cómo se procesaron los datos y las fuentes de datos para cada indicador. Tal y como se describe en la Sección 2.2, algunos indicadores se procesaron para poder compararlos mejor entre diferentes lugares. En los casos en los que no se encontraron datos suficientes para permitir una comparación creíble entre regiones, los datos no se pudieron incluir y las fuentes aparecen como "N/A". Estos valores ausentes se sustituyeron por un valor neutro de 0.5, salvo en los casos en que la información adicional disponible arrojaba mejores estimaciones, como se indica en las correspondientes notas a pie de página.

Tabla 1: Indicadores del índice de borde de la red

| Indicador | Dimensión de Grid Edge | Dirección de influencia | Detalles de procesamiento | Fuentes |
|---|---------------------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Disponibilidad solar | Necesidad | Positiva | Ninguno | [31], [32] |
| Disponibilidad eólica | Necesidad | Positiva | Ninguno | [33] |
| Generación detrás del medidor | Necesidad | Positiva | Ninguno | N/A |
| Precio del carbono | Necesidad | Positiva | Ninguno | [8] |
| Aplicación del precio del carbono | Necesidad | Positiva | Ninguno | [8] |
| Demanda de energía eléctrica | Necesidad | Positiva | Dividir entre la demanda total de energía | [34], [35] |
| Aspiración a un objetivo de emisiones | Necesidad | Positiva | Ninguno | [29], [36]–[40] |
| CHP instalado | Necesidad | Positiva | Dividir entre la capacidad total de generación instalada | [41]–[45] |
| PV de baja tensión instalado | Necesidad | Positiva | Dividir entre la capacidad total de generación instalada | [34], [46]–[49] |
| Nuclear instalada | Necesidad | Positiva | Suma con otras cargas inflexibles, luego dividir entre la capacidad total de generación instalada para obtener la generación no suministrable | [50], [51] |
| Solar fotovoltaica instalada | Necesidad | Positiva | Suma con otras cargas inflexibles, luego dividir entre la capacidad total de generación instalada para obtener la generación no suministrable | [27], [51] |
| Solar CSP instalada | Necesidad | Positiva | Suma con otras cargas inflexibles, luego dividir entre la capacidad total de generación instalada para obtener la generación no suministrable¹ | [46], [52]–[56] |
| Eólica instalada | Necesidad | Positiva | Suma con otras cargas inflexibles, luego dividir entre la capacidad total de generación instalada para obtener la generación no suministrable | [26], [51] |
| Objetivo fijo de NDC | Necesidad | Positiva | Ninguno | [29], [36], [57], [58], [59] |
| Objetivo cero neto de NDC | Necesidad | Positiva | Ninguno | [36], [60]–[65] |
| NDC de toda la economía | Necesidad | Positiva | Ninguno | [29], [36], [57] |
| Demanda máxima de energía | Necesidad | Positiva | Dividir entre la capacidad total de generación instalada | [66]–[72] |
| Elasticidad de precios de los consumidores | Necesidad | Negativa | Ninguno | N/A |
| Demanda de electricidad proyectada | Necesidad | Positiva | Escala de cambio regional en la demanda de electricidad por población² | [73] |

¹ Los valores que faltan para la energía solar CSP instalada se sustituyeron por cero, ya que la ausencia de información de dominio público sobre este tipo de generación poco común se consideró que indicaba la ausencia de tales activos.

² Los valores que faltan para la demanda de electricidad proyectada se calcularon escalando las proyecciones regionales por la población de la localidad dividida por la población de la región.



| Indicador | Dimensión de Grid Edge | Dirección de influencia | Detalles de procesamiento | Fuentes |
|--|---------------------------|-------------------------|---|--|
| Confiabilidad SAIDI | Necesidad | Positiva | Ninguno | [74], [75] |
| Confiabilidad SAIFI | Necesidad | Positiva | Ninguno | [76], [74] |
| Participación prevista de la generación de energías renovables | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9], [77] |
| Vehículos eléctricos objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno | [78], [9] |
| Prohibición de combustibles fósiles edificios/industria | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9] |
| Edificios objetivo calefacción renovable | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9] |
| Salida de carbón objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno | [79], [32], [80], [81], [82], [83], [10], [84], [85], [86] |
| Objetivo para la salida de gas natural | Necesidad | Positiva | Ninguno | N/A |
| Salida nuclear objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno ³ | [87], [88] |
| Energía renovable objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9], [89] |
| Objetivo de energías renovables en calefacción o refrigeración | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9], [90] |
| Potencia de las energías renovables objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno | [9], [89] |
| Medidores inteligentes objetivo | Necesidad | Positiva | Ninguno | [91]–[93] |
| Objetivo de energía solar instalada | Necesidad | Positiva | Ninguno ⁴ | [9], [94] |
| Objetivo de energía eólica instalada | Necesidad | Positiva | Ninguno ⁴ | [95], [9] |
| Plazos de retirada | Necesidad | Positiva | Ninguno | N/A |
| Penetración de AC | Preparación | Positiva | Dividir entre los hogares, donde el número de hogares se calcula a partir de la población y el tamaño promedio de los hogares | [96] |
| Acceso a la electricidad | Preparación | Positiva | Ninguno | [97] |
| Disponibilidad de científicos e ingenieros | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [98] |
| Precio promedio del mercado de equilibrio | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Ancho de banda promedio | Preparación | Positiva | Ninguno | [99] |
| Costos de batería | Preparación | Negativa | Convertir a USD, escala por PPP | N/A |
| Penetración de almacenamiento de batería | Preparación | Positiva | Escala regional total de GWh proporcional a la población ⁵ | [100] |
| Balance presupuestario estable | Preparación | Positiva | Ninguno | [101] |
| Precio del carbono | Preparación | Positiva | Ninguno | [8] |
| Aplicación del precio del carbono | Preparación | Positiva | Ninguno | [8] |
| Índice de percepción de la corrupción | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [102] |
| Calificación crediticia | Preparación | Positiva | Asignar una puntuación lineal, donde AAA = 1 y SD = 0 | [101], [103] |
| Relación deuda/PIB | Preparación | Negativa | Ninguno | [104] |
| Grado de liberalización del mercado de la electricidad | Preparación | Negativa | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [105] |

³ La eliminación de la energía nuclear se fijó en el valor neutro para los lugares que no tienen energía nuclear, ya que es irrelevante para ellos y es muy poco probable que se enfrenten a una eliminación nuclear en la próxima década.
4 Se utilizaron valores de sustitución de 0 para el objetivo de energía solar instalada y el objetivo de energía eólica instalada porque muy pocos países tenían objetivos para tipos de generación específicos y no para la generación renovable en general.
5 Los valores que faltan para la penetración del almacenamiento en baterías se calcularon escalando las cifras de penetración regional de las baterías por la población de la localidad dividida entre la población de la región.



| Indicador | Dimensión del borde de la red | Dirección de influencia | Detalles de procesamiento | Fuentes |
|--|----------------------------------|-------------------------|---|---|
| Competencias digitales en la población | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [106] |
| Costo de EV | Preparación | Negativa | Convertir a USD, escala por PPP | [107]–[111] |
| Participación de mercado de EV | Preparación | Positiva | Ninguno | [112], [78] |
| Cuota de servicios públicos eléctricos / Cartera renovable estándar | Preparación | Positiva | Ninguno | [9], [113] |
| Precio de la electricidad C&I | Preparación | Neutral | Sustituir por el valor neutro debido a los efectos en ambas direcciones ⁶ | [34], [114], [115] |
| Precio de la electricidad residencial | Preparación | Neutral | Sustituir por el valor neutro debido a los efectos en ambas direcciones ⁶ | [34], [114], [115] |
| Gasto energético (C&I) | Preparación | Negativa | Ninguno | N/A |
| Gasto energético (residencial) | Preparación | Negativa | Ninguno | N/A |
| Tarifa de alimentación / pago de primas | Preparación | Positiva | Ninguno | [9], [116] |
| Mercado de flexibilidad (o plan) | Preparación | Positiva | Ninguno | [117], [118], [119], [120], [121] |
| PIB | Preparación | Positiva | Ninguno | [122] |
| PIB per cápita | Preparación | Positiva | Ninguno | [123] |
| Coeficiente de GINI | Preparación | Negativa | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [124], [125] |
| Cobertura GSM | Preparación | Positiva | Ninguno | [126] |
| Penetración de bomba de calor | Preparación | Positiva | Dividir entre los hogares, donde el número de hogares se calcula a partir de la población y el tamaño promedio de los hogares | [127]–[130] |
| Importaciones | Preparación | Positiva | Ninguno ⁷ | [131] |
| Incentivos para CHP | Preparación | Positiva | Ninguno | [132], [133], [134], [135], [136] |
| Incentivos para EV | Preparación | Positiva | Ninguno | [78] |
| Incentivos para energías renovables en calefacción/refrigeración en edificios | Preparación | Positiva | Dividir entre 24, porque se compone de 24 valores binarios para 24 políticas de incentivos distintas | [9] |
| Incentivos para la eficiencia | Preparación | Positiva | Ninguno ⁸ | [137], [138], [139], [140], [141] |
| Incentivos para DSM | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Incentivos para el almacenamiento descentralizado | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Pasivos de inversión internacionales | Preparación | Positiva | Ninguno | [142] |
| Cobertura de Internet | Preparación | Positiva | Ninguno | [143] |
| Inversión en energías renovables | Preparación | Positiva | Dividir entre el PIB | [144], [145] |
| Índice de independencia judicial | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [98] |
| Límites de la oferta de carga | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Microrredes | Preparación | Positiva | Dividir entre la capacidad total de generación instalada | N/A |
| Exportaciones netas | Preparación | Positiva | Ninguno | [101] |

El precio de la electricidad para todos los tipos de consumidores (residenciales y comerciales e industriales) se sustituyó por un valor neutro debido a las influencias que compiten en la preparación de Grid Edge. El aumento en los precios de la electricidad de la red puede desalentar la electrificación de diferentes sectores, pero también puede fomentar la autogeneración con fuentes de energía renovables.
 Todas las conclusiones o análisis que se basan en los datos de la IDB y CTS van acompañados de una cláusula de exención de responsabilidad en la que se indica que son responsabilidad de los autores y que no representan necesariamente la opinión de la OMC.
 Los valores que faltaban se sustituyeron por 1 porque la inmensa mayoría de los países investigados lo tenían.



| Indicador | Dimensión de Grid Edge | Dirección de influencia | Detalles de procesamiento | Fuentes |
|---|---------------------------|-------------------------|--|-------------|
| Medición neta | Preparación | Positiva | Ninguno | [9] |
| Número de DNO/DSO | Preparación | Positiva | Dividir entre la población | N/A |
| Apertura a los nuevos participantes | Preparación | Negativa | Ninguno | [146] |
| Costos fotovoltaicos | Preparación | Negativa | Convertir a USD, escala por PPP | N/A |
| Jugadores proveedores de electricidad | Preparación | Positiva | Ninguno | [147]–[151] |
| Centrales eléctricas virtuales (VPP) | Preparación | Positiva | Ninguno | [152] |
| Propietarios (C&I) | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Propietarios (residencial) | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Paridad del poder adquisitivo | Preparación | Positiva | Ninguno | [153] |
| Confiabilidad SAIDI | Preparación | Negativa | Ninguno | [75], [74] |
| Confiabilidad SAIFI | Preparación | Negativa | Ninguno | [76], [74] |
| Penetración en el mercado de los hogares inteligentes | Preparación | Positiva | Ninguno | [154] |
| Ingresos de casas inteligentes | Preparación | Positiva | Dividir entre el PIB | [154] |
| Costos de los medidores inteligentes | Preparación | Negativa | Convertir a USD, escala por PPP | N/A |
| Penetración de medidores inteligentes | Preparación | Positiva | Ninguno | [5] |
| Penetración de teléfonos inteligentes | Preparación | Positiva | Ninguno | [155]–[159] |
| Licitación | Preparación | Positiva | Ninguno | [160], [9] |
| Comercio de certificados de energía renovable | Preparación | Positiva | Ninguno | [161], [9] |
| Confianza en el negocio | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [162] |
| Confianza en el gobierno | Preparación | Positiva | Ninguno | [163] |
| Confianza en la tecnología | Preparación | Positiva | Dividir entre el puntaje máximo del índice | [164] |
| Tasa de desempleo | Preparación | Negativa | Ninguno | [101] |
| Disposición a pagar | Preparación | Positiva | Escala por PPP | N/A |
| Disposición a desplazar la carga | Preparación | Positiva | Ninguno | N/A |
| Población | N/A | N/A | Se utiliza para procesar otros indicadores | [165] |
| Demanda de energía | N/A | N/A | Se utiliza para procesar otros indicadores | [169] |
| Tamaño promedio de los hogares | N/A | N/A | Se utiliza para procesar otros indicadores | [166]–[168] |

7 Referencias

- [1] Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, and M. Tignor, and T. Waterfield (eds.), "Global warming of 1.5 "C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 "C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change sustainable development, and efforts to eradicate poverty." Accessed: Nov. 04, 2020. [Online].
 Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.
- [2] Siemens, "The grid edge revolution: Innovative drivers towards net-zero energy," Siemens, 2019.
 Accessed: Nov. 04, 2020. [Online]. Available: https://new.siemens.com/global/en/company/topic-areas/smart-infrastructure/grid-edge-whitepaper.html.
- [3] Finnland and Työ- ja elinkeinoministeriö, Finland's integrated energy and climate plan. 2019.
- [4] European Smart Metering Alliance, "Annual Report on Progress in Smart Metering 2009," 2009. Accessed: Nov. 03, 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/esma_2009_annual_report_en.pdf.
- [5] DelosDelta, "The Smart Meter Revolution." https://delosdelta.com/wp-content/uploads/2018/10/The-Smart-Meter-Revolution-Delos-Delta-Report-FINAL-Oct-2018.pdf (accessed Oct. 31, 2020).
- [6] Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, "A Flexible and Customer driven Electricity System-Final report by the Smart Grid Working Group," Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, Helsinki, 2018. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161147.
- [7] Nordic Balancing Model, "About nordicbalancingmodel," 2020. https://nordicbalancingmodel.net/about/ (accessed Nov. 03, 2020)
- [8] The World Bank Group, "State and Trends of Carbon Pricing 2019," World Bank Group, Washington, DC: World Bank, 2019. [Online]. Available: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31755.
- [9] REN21 Secretaria and UN Environment Programme, Eds., Renewables 2020 Global Status Report. Paris, 2020.
- [10] "Countries & Regions," IEA. https://www.iea.org/countries (accessed Nov. 02, 2020).
- [11] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Ed., "Allgemeinverfügung zur Feststellung der technischen Möglichkeit zum Einbau intelligenter Messsysteme," p. 5, 2020.
- [12] A. Stahl, "Startschuss für den Smart-Meter-Rollout ist gefallen," 2020. https://www.energate-messenger.de/news/199942/startschuss-fuer-den-smart-meter-rollout-ist-gefallen (accessed Oct. 27, 2020).
- [13] S. Amelang, "Heat pump industry expects strong growth in Germany after tepid increase in 2019," Clean Energy Wire, 2020.
- [14] German Association of the Automotive Industry (VDA), "Electric Mobility in Germany." https://www.vda.de/en/topics/innovation-and-technology/electromobility/Electric-Mobility-in-Germany (accessed Nov. 10, 2020).
- [15] M. Vogel and D. Bauknecht, "Flexibilität für das Netz Vergleich und Bewertung von Koordinationsmechanismen für den netzdienlichen Einsatz von Flexibilität," Öko-Institut e.V., Freiburg, 2020. Accessed: Nov. 03, 2020. [Online]. Available: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Flexibilitaet-fuer-das-Netz.pdf.
- [16] Singapore Ministry of Finance, "Sustaining Singapore's Success For Our Future Generations," Singapore Ministry of Finance, Singapore, Feb. 2020. Accessed: Oct. 30, 2020. [Online]. Available: https://www.singaporebudget.gov.sg/budget_2020/budget-speech/d-sustaining-singapores-success-for-our-future-generations.
- [17] HM Government, "UK becomes first major economy to pass net zero emissions law," GOV.UK, Jun. 27, 2019.
- [18] National Statistics, "2019 UK greenhouse gas emissions provisional figures," 2019. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/875482/2019_UK_greenhouse_gas_emissions_provisional_figures_statistical_summary.pdf (accessed Nov. 04, 2020).
- [19] HM Government, "Annual Fuel Poverty Statistics Report 2020 (2018 data)," Department for Business, Energy & Industrial Strategy, United Kingdom, Apr. 2020.



- [20] Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem), "About the FIT scheme," Ofgem, Jul. 28, 2016. https://www.ofgem.gov.uk/environmental-programmes/fit/about-fit-scheme (accessed Nov. 04, 2020).
- [21] M. Lempriere, "Smart meter installation period extended but 'ambitious' new targets to follow," Current. https://www.current-news.co.uk/news/smart-meter-installation-period-extended-but-ambitious-new-targets-to-follow (accessed Nov. 11, 2020).
- [22] J. Barnes and S. M. Bhagavathy, "The economics of heat pumps and the (un)intended consequences of government policy," Energy Policy, vol. 138, p. 111198, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111198.
- [23] C. Megerian and J. Panzar, "Gov. Brown signs climate change bill to spur renewable energy, efficiency standards," Los Angeles Times, Oct. 07, 2015.
- [24] L. Dillon, "California to rely on 100% clean electricity by 2045 under bill signed by Gov. Jerry Brown," Los Angeles Times, Sep. 10, 2018.
- [25] United States Climate Alliance, "U.S. Climate Alliance," 2019. http://www.usclimatealliance.org/ (accessed Nov. 04, 2020).
- [26] U.S. Department of Energy, "Wind Energy in California," Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019. [Online]. Available: https://windexchange.energy.gov/states/ca.
- [27] The Solar Foundation, "Solar Jobs Census 2019," 2019. [Online]. Available: https://www.solarstates.org/#states/solar-capacity/2019.
- [28] U.S. Energy Information Administration (EIA), "California State Energy Profile," California State Energy Profile, Jan. 2020. https://www.eia.gov/state/print.php?sid=CA (accessed Nov. 02, 2020).
- [29] Center for Climate and Energy Solutions, "California Cap and Trade," Policy Hub, Jun. 22, 2020. https://www.c2es.org/content/california-cap-and-trade/ (accessed Nov. 04, 2020).
- [30] M. Steurer, "Analyse von Demand Side Integration im Hinblick auf eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung," 2017, doi: 10.18419/OPUS-9181.
- [31] Solargis and World Bank Group, "Global Solar Atlas 2.0," Global Solar Atlas, 2020. https://globalsolaratlas.info/map (accessed Nov. 02, 2020).
- [32] Emma Pihlakivi, "Potential of Solar Energy in Finland," Turku University of Applied Sciences, 2015. [Online]. Available: https://www.theseus.fli/bitstream/handle/10024/104483/Emma_Pihlakivi.pdf?sequence=1.
- [33] Technical University of Denmark and World Bank Group, "Global Wind Atlas 3.0," Global Wind Atlas, 2020. https://globalwindatlas.info (accessed Nov. 02, 2020).
- [34] U.S. Energy Information Administration (EIA), "Electric Power Monthly," 2020. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php.
- [35] U.S. Department of Energy, "State of California Energy Sector Risk Profile," U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability, 2015. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/CA-Energy%20Sector%20Risk%20Profile.pdf.
- [36] Climate Watch, "Climate Watch," Washington, DC: World Resources Institute, 2018. https://www.climatewatchdata.org/countries (accessed Nov. 12, 2020).
- [37] OECD, "Greenhouse gas emissions," 2020. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG (accessed Nov. 12, 2020).
- [38] F. Joergen, "Pledge Pipeline | Climate Change," UNEP DTU Partnership, 2018. https://unepdtu.org/publications/nationally-determined-contributions-ndc-and-pledge-pipeline/ (accessed Nov. 12, 2020).
- [39] Ministry of the Environment of Finland, "Finland's national climate change policy," Ympăristôministerio. https://ym.fi/en/finland-s-national-climate-change-policy (accessed Nov. 12, 2020).
- [40] S. Priestley and P. Bolton, "UK Carbon Budgets Briefing Paper," Jul. 2019. Accessed: Nov. 09, 2020. [Online]. Available: https://commonslibrary.parliament.uk/research-briefings/cbp-7555/.
- [41] U.S. Department of Energy, "The State of CHP: California," 2017.
- [42] Eurostat and European Commission, "Energy Data," 2020. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data.
- [43] SEMBCORP, "Sembcorp Opens a Second Cogeneration Plant on Jurong Island and a New Technology & Innovation Centre," 2014. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20161110113044/http://www.sembcorp.com/en/media/mediareleases/utilities/2014/october/sembcorp-opens-a-second-cogeneration-plant-on-jurong-island-and-a-newtechnology-innovation-centre/.



- [44] ALSTOM, "Alstom starts Phase 2 of KMCs 800 MW gas-fired power plant in Singapore," 2011. [Online]. Available: https://www.alstom.com/press-releases-news/2011/4/alstom-starts-phase-2-of-kmc-800-mw-gas-fired-power-plant-in-singapore.
- [45] U.S. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "More than 550 Megawatts of New Combined Heat and Power Capacity Added in United States, Puerto Rico, and Virgin Islands," 2018. [Online]. Available: https://www.energy.gov/eere/amo/articles/more-550-megawatts-new-combined-heat-and-powercapacity-added-united-states-puerto.
- [46] Timo Hakkarainen, Eemeli Tsupari, Elina Hakkarainen & Jussi Ikäheimo, "The Role and Opportunities for Solar Energy in Finland and Europe," VTT Technical Research Centre of Finland, 2015.
- [47] Georg Lettner, Hans Auer, Andreas Fleischhacker, Daniel Schwabeneder, Bettina Dallinger, Fabian Moisl, Eduardo Roman, Daniela Velte & Ana Huidobro, "Existing and Future PV Prosumer Concepts," Technische Universitaet Wien and Fundacion Tecnalia Research and Innovation, 2018.
- [48] UKBusinessEnergy.co.uk, "UK Solar & PV Market Report 2019," 2019. [Online]. Available: https://ukbusinessenergy.co.uk/uk-solar-pv-market-report/.
- [49] Energy Market Authority Singapore, "Singapore Energy Statistics," 2018. [Online]. Available: https://www.ema.gov.sg/cmsmedia/Publications_and_Statistics/Publications/SES18/Publication_Singapore_Energy_Statistics_2018.pdf.
- [50] U.S. Energy Information Administration (EIA), "State Electricity Profiles," 2018. [Online]. Available: https://www.eia.gov/electricity/state/california/.
- [51] U.S. Energy Information Administration (EIA), "International Energy Data Electricity."
 https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-capacity (accessed Nov. 02, 2020).
- [52] T. Ming, Solar Chimney Power Plant Generating Technology. Zhejiang University Press, 2016.
- [53] U.S. Department of Interior, "Renewable Energy Projects Approved Since the Beginning of Calendar Year 2009," 2013. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20130503220642/http://www.blm.gov/wo/st/ en/prog/energy/renewable_energy/Renewable_Energy_Projects_Approved_to_Date.html.
- [54] Brightsource Ivanpah, "Ivanpah Project Facts," 2012. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20121126070955/http://ivanpahsolar.com/about.
- [55] The Centre for Land Use Interpretation, "Points of Interest in The Harper Lake Basin," 2014. [Online]. Available: http://clui.org/project-page/13338/13344.
- [56] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Data & Statistics." [Online]. Available: https://www.irena.org/Statistics.
- [57] Ministry of the Environment of Finland, "National climate policy." URL: https://ym.fi/en-US/The_environment/ Climate_and_air/Mitigation_of_climate_change/National_climate_policy.
- [58] National Climate Change Secretariat of Singapore, "Submission of Singapore's Enhanced Nationally Determined Contribution and Long-Term Low-Emissions Development Strategy to the United Nations Framework Convention on Climate Change," Apr. 01, 2020. Imedia/press-release/submission-of-singapores-enhanced-nationally-determined-contribution-and-long-term-low-emissions-development-strategy (accessed Nov. 12, 2020).
- [59] European Commission, "Submission by Latvia and the European Commission on behalf of the European Union and its member states," 2015, [Online]. Available: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/Published Documents/Czechia%20First/LV-03-06-EU%20INDC.pdf.
- [60] California Public Utilities Commission, "Zero Net Energy," 2017. https://www.cpuc.ca.gov/ZNE/ (accessed Nov. 12, 2020).
- [61] Government of Chile, "Presidente Piñera potencia anuncio de carbono neutralidad al 2050 con líderes de Alemania, Francia, España, Reino Unido y Holanda," Jun. 28, 2019. http://prensa.presidencia.cl/fotonoticia.aspx?id=98046 (accessed Nov. 12, 2020).
- [62] J. Y. Kim, "Ethiopia Rising: Aspiring to Become a Carbon Neutral Middle Income Manufacturing Hub by 2025," World Bank, Jul. 14, 2015. https://www.worldbank.org/en/news/speech/2015/07/14/ethiopia-rising-carbon-neutral-middle-income-manufacturing-hub (accessed Nov. 12, 2020).
- [63] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, "Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050," p. 173, 2019.
- [64] The Parliament of New Zealand, "Climate Change Response (Zero Carbon) Amendment Act 2019." Nov. 13, 2019, Accessed: Nov. 09, 2020. [Online]. Available: http://www.legislation.govt.nz/act/public/2019/0061/latest/whole.html#LMS183736.



- [65] British Department for Business, Energy and Industrial Strategy, "The Climate Change Act 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019." 2019, Accessed: Nov. 09, 2020. [Online]. Available: https://www.legislation.gov.uk/ukdsi/2019/9780111187654/contents.
- [66] Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRE), "The Electric Power System ARGENTINA," 2018.
- [67] J. Muehlenpfordt, "Time series." Open Power System Data, Oct. 06, 2020, doi: 10.25832/TIME_SERIES/2020-10-06.
- [68] Agora Energiewende, Instituto E+ Diálogos Energéticos, "Report on the Brazilian Power System," 2018.
- [69] California Independent System Operator (CAISO), "California ISO Peak Load History 1998 through 2019," 2019.
- [70] Energy Market Authority Singapore, "Statistics Monthly Peak System Demand," 2020.
- [71] U.S. Energy Information Administration (EIA), "Heat wave results in highest U.S. electricity demand since 2017," Today in Energy, Aug. 01, 2019. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=40253 (accessed Nov. 02, 2020).
- [72] M. Brinkerink and P. Deane, "PLEXOS World 2015." Harvard Dataverse, Aug. 07, 2020, doi: 10.7910/DVN/CBYXBY.
- [73] International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2019 Analysis." Accessed: Nov. 12, 2020. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019.
- [74] The World Bank Group, "Doing Business | DataBank," 2020. https://databank.worldbank.org/source/doing-business (accessed Nov. 17, 2020).
- [75] California Public Utilities Commission, "SAIDI 2008 2017," CA.gov, 2020. https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4587 (accessed Nov. 04, 2020).
- [76] California Public Utilities Commission, "SAIFI 2008 2017," CA.gov, 2020. https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4589 (accessed Nov. 04, 2020).
- [77] National Grid ESO, "Future Energy Scenarios 2020 documents," 2020. https://www.nationalgrideso.com/future-energy/future-energy-scenarios/fes-2020-documents (accessed Nov. 02, 2020).
- [78] International Energy Agency (IEA), "Global EV Outlook 2020," International Energy Agency (IEA), 2020. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020.
- [79] Climate Transparency, "Managing the Phase-Out of Coal A Comparison of Actions in G20 Countries," 2019. [Online]. Available: www.climate-transparency.org.
- [80] Institute for Energy Economics & Financial Analysis, "Chile launches coal phase-out initiative," Jan. 04, 2019. https://ieefa.org/chile-launches-coal-phase-out-initiative/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [81] Sandbag, "Solving the coal puzzle," London, 2019. [Online].Available: https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2019/12/Sandbag-CoalBook2019-WEB-1.pdf.
- [82] K. Steinbacher, T. Fichter, A. Amazo, T. Sach, H. Schult, and F. Wigand, "The role of coal in the energy mix of MENA countries and alternative pathways," Navigant; GIZ, 2020. [Online]. Available: https://www.energypartnership-algeria.org/fileadmin/user_upload/algeria/GIZ_2020_The_role_of_ coal_in_the_energy_mix_of_MENA_countries_and_alternative_pathways.pdf.
- [83] P. Williams, "New Zealand's New Leader Wants to Kill Off Carbon," Bloomberg, 2017.
- [84] L. Chavez, "Coal power plants flourish in the Philippines despite climate emergency," Mongabay, 2019.
- [85] Ecoaction, "Ukraine will phase-out coal by 2050, but nuclear is still there. Ministry presented a new Concept," 2020. https://en.ecoaction.org.ua/ukraine-phase-out-coal-by2050.html (accessed Nov. 02, 2020).
- [86] Cimate Analytics, "Decarbonising South & South East Asia Country Profile Vietnam," May 2019. [Online]. Available: https://climateanalytics.org/media/decarbonisingasia2019-profile-vietnam-climateanalytics.pdf.
- [87] World Nuclear Association, "Information Library," 2020. https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [88] J. Stolarchuk, "Temasek CEO signals her support for nuclear power once again and urges Singapore to 'keep options open," The Independent, 2019.
- [89] Database of State Incentives for Renewables & Efficiency (DSIRE), "Renewables Portfolio Standard," 2018. https://programs.dsireusa.org/system/program/detail/840 (accessed Nov. 02, 2020).



- [90] A. S. Hopkins, K. Takahashi, D. Glick, and M. Whited, "Decarbonization of Heating Energy Use in California Buildings," Synapse Energy Economics, 2018.
- [91] F. Tounquet, C. Alaton, European Commission, Directorate-General for Energy, and Tractebel Impact, Benchmarking smart metering deployment in the EU-28: final report. 2020.
- [92] State Policy Opportunity Tracker, "California | Smart Meter Deployment | SPOT," 2016.
 https://spotforcleanenergy.org/state/california/smart-meter-deployment/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [93] Energy Market Authority Singapore, "Advanced Electricity Meters for All Homes in Next Five Years," ema.gov. sg, Nov. 26, 2019. https://www.ema.gov.sg/reply_to_forum_letter.aspx?news_sid=20191126yDgJFqaHmSVp (accessed Nov. 02, 2020).
- [94] A. Tan, "Singapore to ramp up solar energy production to power 350,000 homes by 2030," The Straits Times, Dec. 30, 2019.
- [95] Institute for Energy Economics & Financial Analysis, "New coalition pushing goal of 10GW of offshore wind in California by 2040," Oct. 04, 2019. https://ieefa.org/new-coalition-pushing-goal-of-10gw-of-offshore-wind-incalifornia-by-2040/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [96] The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry, "World AC Demand." https://www.jraia.or.jp/english/World_AC_Demand.pdf (accessed Oct. 31, 2020).
- [97] The World Bank Group, "Access to electricity (% of population) World Bank Open Data," 2020. https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS (accessed Nov. 17, 2020).
- [98] World Economic Forum, "Global Competitiveness Index 2017-2018," Competitiveness Rankings, 2020. http://wef.ch/2wcVUt8 (accessed Nov. 02, 2020).
- [99] Speedtest, "Monthly comparisons of internet speeds from around the world," Speedtest Global Index, 2020. https://www.speedtest.net/global-index (accessed Nov. 12, 2020).
- [100] World Economic Forum, "A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation," World Economic Forum; McKinsey & Company, Geneva, Switzerland, Sep. 2019. [Online]. Available: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_ Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 Report.pdf.
- [101] Standard & Poor's, "Sovereign Risk Indicators S&P Global Ratings," 2019. https://www.spratings.com/sri/ (accessed Oct. 30, 2020).
- [102] Transparency International, "Corruption Perception Index 2019," Transparency.org, 2019. https://www.transparency.org/en/cpi/2019/table (accessed Nov. 02, 2020).
- [103] Trading Economics, "Nepal Credit Rating," 2020. https://tradingeconomics.com/nepal/rating (accessed Nov. 02, 2020).
- [104] International Monetary Fund (IMF), "Global Debt Database Central Government Debt," 2018. https://www.imf.org/external/datamapper/CG_DEBT_GDP@GDD (accessed Nov. 02, 2020).
- [105] OECD, "Sectoral Product Market Regulation Indicators Electricity," Organisation for Economic Co-operation and Development, 2018. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: http://www.oecd.org/economy/reform/indicators-of-product-market-regulation/.
- [106] K. Schwab, "The Global Competitiveness Report 2019," World Economic Forum.
- [107] Nissan, "Nissan LEAF Price & Specification UK," 2020. https://www.nissan.co.uk/vehicles/new-vehicles/leaf/prices-specifications.html (accessed Nov. 11, 2020).
- [108] Nissan, "Nissan LEAF Singapore," 2020. https://www.nissan.com.sg/vehicles/new/leaf.html (accessed Nov. 11, 2020).
- [109] Nissan, "2020 Nissan LEAF USA," 2020. https://www.nissanusa.com/shopping-tools/build-price?models=nissan-leaf#configure (accessed Nov. 11, 2020).
- [110] Nissan, "Nissan Finland," 2020. https://www.nissan.fi/ajoneuvot/henkiloautot/leaf/rakenna-autosi. html#configure/BAI_/A/grade (accessed Nov. 11, 2020).
- [111] Nissan, "Nissan Germany," 2020. https://www.nissan.de (accessed Nov. 11, 2020).
- [112] Land Transport Authority: Singapore, "Motor Vehicle Population by Type of Fuel Used: Singapore," 2019. https://www.lta.gov.sg/content/dam/ltagov/who_we_are/statistics_and_publications/statistics/pdf/MVP01-4_MVP by_fuel.pdf (accessed Nov. 11, 2020).
- [113] N. R. Oliver, "No Small Triumph: the Outlook for Argentina's Renewable Energy Programs," Law School International Immersion Program Paper, no. 17, p. 19, 2016.



- [114] Bundesnetzagentur, "Monitoringbericht 2019 von Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt," p. 541, 2020.
- [115] Energy Market Authority Singapore, "Electricity Tariffs | EMA Singapore," ema.gov.sg, 2020. https://www.ema.gov.sg/Residential_Electricity_Tariffs.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [116] California Public Utilities Commission, "Renewable Feed-In Tariff (FIT) Program," cpuc.ca.gov, Jun. 29, 2020. https://www.cpuc.ca.gov/feedintariff/ (accessed Nov. 04, 2020).
- [117] California Independent System Operator (CAISO), "California ISO Market processes and products," 2020. http://www.caiso.com/market/Pages/MarketProcesses.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [118] J. Büchner, R. Beune, and J. von Appen, "Real time flexibility markets Development of Fingrid's vision on the design of a Finnish flexibility market," E-Bridge Consulting, Bonn, Germany, 2019. [Online]. Available: http://www.e-bridge.com/wp-content/uploads/2020/01/E-Bridge_Fingrids-flexibility-market-vision_2019.pdf.
- [119] Federal Ministry for Economics Affairs and Energy, "WindNODE Sinteg," 2020. https://www.sinteg.de/en/showcases/windnode (accessed Nov. 02, 2020).
- [120] Energy Market Authority, Ed., "Consultation Paper Developing a Forward Capacity Market to Enhance the Singapore Wholesale Electricity Market." 2020, Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.ema.gov.sg/ConsultationDetails.aspx?con_sid=20190610AkFa3aH9d5bm.
- [121] National Grid ESO, "EMR Portal Capacity Market." https://www.emrdeliverybody.com/cm/home.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [122] The World Bank Group, "GDP World Bank Open Data," 2020. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD (accessed Nov. 02, 2020).
- [123] The World Bank Group, "GDP per capita World Bank Open Data," 2020. https://data.worldbank.org/indicator/NY,GDP.PCAP.CD (accessed Nov. 02, 2020).
- [124] The World Bank Group, "Gini Index (World Bank estimate) World Bank Open Data," 2020. https://data.worldbank.org/indicator/Si.POV.GINi?end=2018&start=2018&view=bar (accessed Nov. 02, 2020).
- [125] OECD, "Income inequality." OECD, 2020; doi: 10.1787/459aa7f1-en.
- [126] The World Bank Group, "Open Trade and Competitiveness Data," The World Bank Group, 2019. Accessed: Nov. 12, 2020. [Online]. Available: https://tcdata360.worldbank.org/.
- [127] Statista, "Annual amount of heat pumps in operation," Statista, https://www.statista.com/ (accessed Oct. 31, 2020).
- [128] J. Hirvonen, "Heat Pump Market and scenarios in Finland," p. 20.
- [129] International Energy Agency (IEA), "Heat Pumps Analysis," International Energy Agency (IEA), Tracking report, Jun. 2020. Accessed: Oct. 31, 2020. [Online]. Available: https://www.lea.org/reports/heat-pumps.
- [130] M. Lapsa, D. Uselton, J. Joe, M. Malhotra, and V. Baxter, "U.S. Heat Pump Market." https://heatpumpingtechnologies.org/wp-content/uploads/2019/12/us-hp-market-overview-lapsa-nov-12.pdf (accessed Nov. 12, 2020).
- [131] The World Bank Group, "Import Partners By Country in 1988 2017 | WITS Data," 2017. https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/BY-COUNTRY/StartYear/1988/EndYear/2017/Indicator/NMBR-MPRT-PRTNRW (accessed Nov. 02, 2020).
- [132] Center for the New Energy Economy (CNEE) and The Nature Conservancy (TNC), "State Policy Opportunity Tracker (SPOT) | California | Combined Heat and Power Incentives," 2018. https://spotforcleanenergy.org/state/california/combined-heat-and-power-incentives/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [133] eclareon GmbH, "Legal sources on renewable energy | Price-based mechanisms," Feb. 07, 2019. http://www.res-legal.eu/search-by-country/finland/single/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [134] Federal Ministry for Economics Affairs and Energy, "Combined heat and power," 2020. https://www.brwwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Energy/modern-power-plant-technologies.html (accessed Nov. 02, 2020).
- [135] Electricity Market Authority, Singapore, "Electricity: Advanced CCGTs," 2020. https://www.ema.gov.sg/advanced-ccgt.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [136] HM Government, "Combined Heat and Power Incentives," GOV.UK, 2019. https://www.gov.uk/guidance/combined-heat-and-power-incentives (accessed Nov. 02, 2020).
- [137] International Energy Agency (IEA), "Policy database Data & Statistics," IEA, https://www.iea.org/policies (accessed Nov. DZ, 2020).



- [138] Finnish Energy Authority, "Finland's National Energy Efficiency Action Plan NEEAP-4," Report to the European Commission pursuant to Article 24(2) of the Energy Efficiency Directive (2012/27/EU), Apr. 2017. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/fi_neeap_2017_en.pdf.
- [139] Federal Ministry for Economics Affairs and Energy, "Enhancing energy efficiency in buildings," 2020. https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/enhancing-energy-efficiency-in-buildings.html (accessed Nov. 02, 2020).
- [140] International Energy Agency (IEA), "EE Funding for Qualifying Costs for Energy Assessment in Industries Policies in Singapore," IEA, 2019. https://www.iea.org/policies/7982-ee-funding-for-qualifying-costs-for-energy-assessment-in-industries (accessed Nov. 02, 2020).
- [141] Department for Business, Energy, and Industrial Strategy, "Home energy grants," Simple Energy Advice. https://www.simpleenergyadvice.org.uk/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [142] International Monetary Fund (IMF), "International Investment Position by Country IMF Data," 2019. https://data.imf.org/regular.aspx?key=61468209 (accessed Nov. 02, 2020).
- [143] The World Bank Group, "Individuals using the Internet (% of population) | Data." https://data.worldbank.org/indicator/IT.NET.USER.ZS (accessed Nov. 12, 2020).
- [144] Statista, "Global renewable capacity investment share per GDP 2018," Statista, 2020. https://www.statista.com/statistics/572121/global-renewable-capacity-investment-share-per-gdp/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [145] Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF, "Global Trends in Renewable Energy Investment 2020," 2020. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf.
- [146] The World Bank Group, "HH Market concentration index By Country 1988-2017 | WITS Data," 2020. https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/BY-COUNTRY/StartYear/1988/EndYear/2017/Indicator/ HH-MKT-CNCNTRTN-NDX# (accessed Nov. 02, 2020).
- [147] California Energy Commission, "Electric Load-Serving Entities (LSEs) in California," California Energy Commission, 2020. https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/ electric-load-serving-entities-Ises (accessed Nov. 02, 2020).
- [148] Energy Authority Finland, "National Report 2018 to the Agency for the Cooperation of Energy Regulators and to the European Commission - Finland," Energy Authority Finland, Jul. 2018. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://energiavirasto.fi/documents/11120570/13026619/National+Report+2018+Finland. pdf/beeaec3e-3fdf-d93c-fec9-9ee21a395fc9/National+Report+2018+Finland.pdf,%20p.8.
- [149] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V, "Energy Market Germany 2019," Jun. 2019. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: https://www.bdew.de/media/documents/Pub_20190603_ Energy-Market-Germany-2019.pdf.
- [150] Energy Market Authority Singapore, "Open Electricity Market Statistics| EMA Singapore," ema.gov.sg, 2020. https://www.ema.gov.sg/OEM_Statistics.aspx (accessed Nov. 02, 2020).
- [151] Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem), "Number of active domestic suppliers by fuel type (GB)," Ofgem, 2020. https://www.ofgem.gov.uk/data-portal/number-active-domestic-suppliers-fuel-type-gb (accessed Nov. 02, 2020).
- [152] Statista, "Virtual power plants market share globally by region 2019," Statista, 2020. https://www.statista.com/statistics/1073754/market-share-virtual-power-plants-globally-by-region/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [153] The World Bank Group, "GDP per capita, PPP World Bank Open Data," 2020. https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD (accessed Nov. 02, 2020).
- [154] Statista, "Smart Home worldwide | Statista Market Forecast," Statista, Oct. 2020. https://www.statista.com/outlook/283/100/smart-home/worldwide (accessed Nov. 13, 2020).
- [155] Newzoo, "Top Countries by Smartphone Users." https://newzoo.com/insights/rankings/top-countries-by-smartphone-penetration-and-users/ (accessed Oct. 31, 2020).
- [156] Statista, "Finland: smartphone user penetration 2018-2024," Statista. https://www.statista.com/statistics/568091/predicted-smartphone-user-penetration-rate-in-finland/ (accessed Nov. 12, 2020).
- [157] Statista, "Singapore smartphone penetration 2017-2023," Statista. https://www.statista.com/statistics/625441/smartphone-user-penetration-in-singapore/ (accessed Nov. 12, 2020).
- [158] TCRN STAFF, "Over 40% of Costa Ricans Have a Smartphone," The Costa Rica News, Feb. 25, 2014.



- [159] NepaliTelecom, "Smartphone penetration in Nepal and the impact," NepaliTelecom, Mar. 14, 2018. https://www.nepalitelecom.com/2018/03/smartphone-penetration-nepal-and-the-impact.html (accessed Nov. 12, 2020).
- [160] State of California, "Renewable Auction Mechanism," CA.gov, 2020. https://www.cpuc.ca.gov/Renewable_Auction_Mechanism/ (accessed Nov. 02, 2020).
- [161] California Public Utilities Commission, "CPUC Approves Tradable Renewable Energy Credits for Use in Renewable Energy Program," p. 3, 2010.
- [162] Edelman, "2020 Edelman Trust Barometer," 2020. Accessed: Nov. 04, 2020. [Online]. Available: https://www.edelman.com/trustbarometer.
- [163] Wellcome Global Monitor, "Share of people that trust their national government," Our World in Data, 2018. https://ourworldindata.org/grapher/share-who-trust-government (accessed Nov. 04, 2020).
- [164] Edelman, "2019 Trust Barometer: Trust in Technology," 2019.
- [165] The World Bank Group, "Population." https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL (accessed Nov. 11, 2020).
- [166] CEICData, "United Arab Emirates | Average Size of Households: Census: Dubai | Economic Indicators." https://www.ceicdata.com/en/united-arab-emirates/size-of-households-average/average-size-of-households-census-dubai (accessed Oct. 31, 2020).
- [167] UN Department of Economic and Social Affairs, "Household: Size and Composition 2018 Countries," United Nations, 2018. Accessed: Oct. 31, 2020. [Online]. Available: https://population.un.org/Household/index.html#/countries/.
- [168] Statistics Korea, "Complete Enumeration Results of the 2015 Population and Housing Census," Sep. 07, 2016. https://kostat.go.kr/portal/eng/pressReleases/1/index.board?bmode=read&aSeq=356507 (accessed Oct. 31, 2020).
- [169] The World Bank Group, "Energy use (kg of oil equivalent per capita) | Data." https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE (accessed Nov. 17, 2020).

La infraestructura inteligente conecta de forma inteligente los sistemas de energía, edificios e industrias para adaptar y evolucionar la forma de vivir y trabajar.

Trabajamos junto a clientes y socios para crear un ecosistema que responda intuitivamente a las necesidades de las personas y ayude a los clientes a utilizar mejor los recursos.

Ayuda a nuestros clientes a prosperar, a las comunidades a progresar y apoya el desarrollo sostenible.

Creating environments that care. siemens.com/smart-infrastructure

Autores

TU Berlin

Stephan Seim
Daniel Hubertus Rüdt
Benjamin Grosse
Prof. Joachim Müller-Kirchenbauer

Universidad de Oxford

Miriam Zachau Walker
Dr. Katherine Collett
Dr. Sivapriya Mothilal Bhagavathy
Dr. Avinash Vijay
Prof. Malcolm McCulloch

Siemens AG, Smart Infrastructure

Silke Röntgen-Zimmermann

DOI: 10.5281/zenodo.4287323

Publicado por Siemens Switzerland Ltd

Smart Infrastructure Sede mundial Theilerstrasse 1a 6300 Zug Suiza Tel +41 58 724 24 24

Para los EE.UU. publicado por Siemens Industry Inc.

100 Technology Drive Alpharetta, GA 30005 Estados Unidos

Universidad de Oxford

Departamento de Ciencias de Ingeniería 17 Parks Road Oxford OX1 3PJ Reino Unido

Technische Universität Berlin

Fachgebiet Energie- und Ressourcenmanagement Straße des 17. Juni 135 10623 Berlín Alemania

Sujeto a cambios y errores. La información que se proporciona en este documento sólo contiene descripciones generales y/o características de rendimiento que no siempre reflejan específicamente las descritas, o que pueden sufrir modificaciones en el curso del desarrollo posterior de los productos. Las características de rendimiento solicitadas sólo son vinculantes cuando se acuerdan expresamente en el contrato que se celebra.