



Programa de Becas para Investigadores sobre China del Centro de Estudios China-México 2019

11.9 Zaragoza Castillo Ricardo

Cadena global de valor (CGV) de energía eléctrica, la inserción de México y China. ¿Qué podemos aprender de China?

Periodo de estancia:

01 de agosto – 13 de diciembre

2019





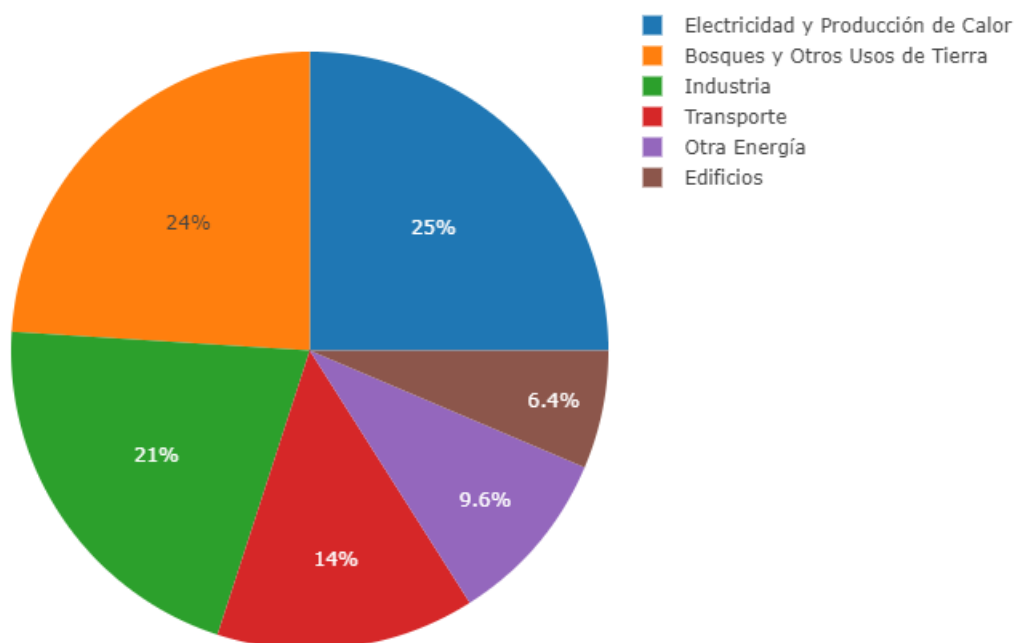
Cadena global de valor (CGV) de energía eléctrica, la inserción de México y China. ¿Qué podemos aprender de China?

Ricardo Zaragoza Castillo

Introducción

A nivel global, el sector eléctrico y de producción de calor fue en 2010 el principal emisor de gases de efecto invernadero (GEI) con 25% de las emisiones totales (49 Gt CO_2e ⁵⁷), seguido de cerca por el sector de agricultura, forestal y otros usos de tierra con el 24%, industria 21%, transporte 14%, otra energía 9.6%, y edificios 6.4% (verfig. @ref(fig:CO2eSect)) (Change [2014](#)). Asimismo, el boletín de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) mostró la existencia de un aumento en 2016 (403.3 ppm) y 2017 (405.5 ppm) de las partes por millón de dióxido de carbono CO_2 , principal GEI, en la atmósfera (WMO [2018](#)). Esto resulta sumamente relevante ante el esenario planteado por la OMM, el Programa de las Naciones unidas para el Medioambiente (PNUMA) y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) en el que para mantener el aumento global de la temperatura en 1.5°C comprometido en el Acuerdo de París, y así limitar los efectos del cambio climático, es necesario que para el 2050 las emisiones netas de CO_2e sean cero (Martin [2018](#); ONU [2015](#); Klein et al. [2014](#)). Las rutas compatibles con dicha meta requieren una disminución en la intensidad energética de la economía que modere el crecimiento de la demanda final de energía, que para 2050 se haya alcanzado un sistema eléctrico con una intensidad de carbono de cero, que la participación de la energía eléctrica como energía final (electrificación masiva) sea de 50% y superior a partir de 2050, así como una reducción importante de intensidad de carbono de la matriz energética (no electricidad) que llegue a cero en 2060 (IPCC [2018](#)).

⁵⁷ CO_2e , o dióxido de carbono equivalente, es una medida estándar que expresa el impacto de los diferentes gases de efecto invernadero en términos del volumen de CO_2 que crearía el mismo nivel de calentamiento.



Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Sector Económico, 2010.

Las rutas para mantener el incremento en la temperatura global del planeta en el umbral de los 1.5°C tienen como columna vertebral el crecimiento de fuentes de energía con baja emisión de carbono, incluyendo las energías renovables, la energía nuclear y fuentes fósiles con captura y secuestro de carbono (CSC), así como la reducción de la participación de energías fósiles sin CSC; una rápida reducción en la intensidad de carbono en la generación de electricidad simultáneamente con un mayor electrificación para energía de uso final en sectores como el industrial, edificios, y el transporte (vehículos eléctricos); y el crecimiento en el uso de CSC aplicadas a carbono fósil y de biomasa (IPCC [2018](#), cap. 2).

La viabilidad de la integración de fuentes renovables de energía depende en gran medida de las características geográficas del área donde se implementa, y de particular importancia resulta la adaptación de la red eléctrica (por ejemplo, almacenamiento de energía) a medida en que la penetración de los renovables crece. Para regiones con una gran demanda de energía como las áreas industriales, la transmisión de electricidad en corriente directa de alto voltaje (HVDC) será necesaria (IPCC [2018](#), cap. 4). Una de las principales barreras que las energías renovables han encontrado para una rápida incorporación a los sistemas

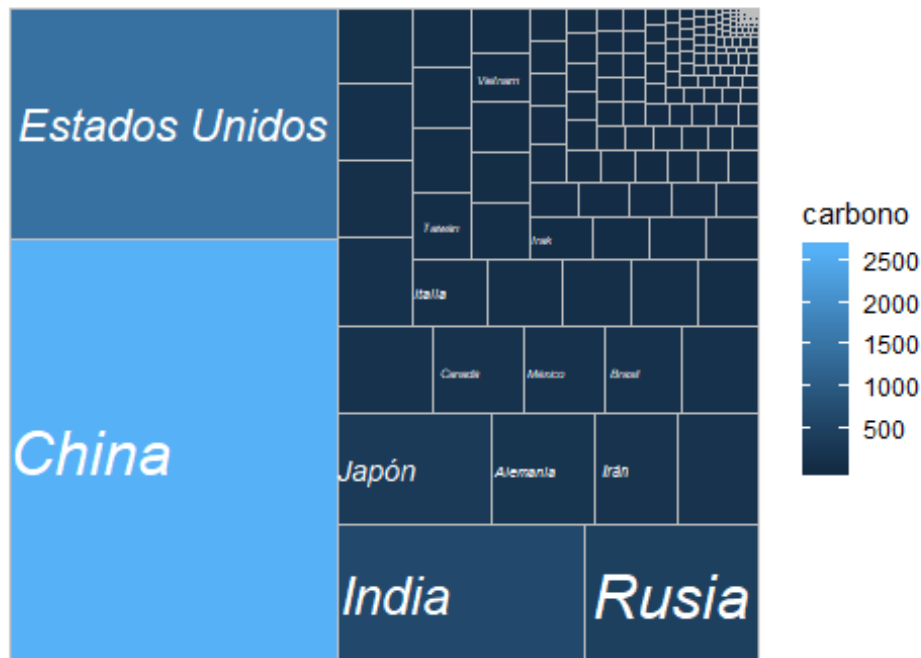


energéticos ha sido su intermitencia innata, especialmente la energía generada por paneles solares y turbinas eólicas.

Dicha intermitencia genera problemas técnicos ante la dificultad para predecir su generación, la insuficiente flexibilidad y eficiencia de las tecnologías basadas en fósiles, y la falta de un control efectivo de la demanda para reducir los picos de demanda agravados por el desfase entre generación de energía con fuentes renovables y los picos de demanda, resultando en una redundancia de recursos que incrementan los costos y mantienen niveles de emisiones contaminantes relativamente altos (Kroposki [2017](#); Denholm et al. [2015](#); NREL [2018](#); Twite [2018](#); Faheem et al. [2018](#)).

A nivel país, China fue el mayor contribuidor de emisiones de carbono en 2017 con el 28.32% de un total de 9.482 Millones de toneladas de carbono,⁵⁸ seguida de los Estados Unidos con 15.17%, India con 7.10%, Rusia con 4.87% y Japón con 3.47%. México se ubicó en la posición 11 con el 1.41% de las emisiones totales, Brasil en la 13 con el 1.37% y Venezuela en la 34 con el 0.46% (ver fig. @ref(fig:CO2Pais))(UNFCCC&CDIAC [2017](#)). También destaca la importancia de China como el país más poblado del planeta con un crecimiento económico que se ha sostenido a través de décadas convirtiéndola en una de las principales economías mundiales y en el mayor consumidor y productor de energía en el mundo.

⁵⁸ Una tonelada de carbono es equivalente a 3.664 toneladas de CO_2 .



Emisiones de Carbono por país (millones de toneladas), 2017.

China necesita importar una importante proporción de energéticos -alrededor del 19% de su oferta total es importada-, principalmente petróleo y otros líquidos, por lo que la demanda China tiene una importante influencia en los mercados energéticos globales (eia [2015](#)). Para 2016 de un total de 2,959,101 ktoe (miles de toneladas de petróleo equivalente), alrededor del 65% de la oferta de energía primaria fue carbón, seguido por un 18% de petróleo y otros líquidos del petróleo, y en tercer lugar el gas natural con 6% (IEA [2018b](#)). Para 2018, Brasil, Venezuela, y Colombia figuraron en el sexto (6.8%), noveno (2.9%) y treceavo (2.1%) lugar, respectivamente, de los principales 15 proveedores de China (Workman [2019](#)).

De la región de América Latina y el Caribe (ALC), Brasil, Venezuela y Colombia han sido destino de importantes inversiones en el sector energético, tanto de fósiles como en el de energías renovables. Brasil destaca por haber logrado la creación y el funcionamiento de instituciones bilaterales para la cooperación China-Brasil, aún sin contar con un tratado de inversión entre ambos países (Liss [2018](#)), que lo convirtió en el principal socio estratégico de China en la región con una importante cooperación político-diplomática, técnica militar



y científica-tecnológica, con una importante concentración de las inversiones chinas en el sector energético (Dussel Peters [2013](#)).

Venezuela destaca por el establecimiento de una relación estratégica con China a través de la venta de petróleo, el comercio, la inversión directa, préstamos y proyectos de infraestructura que en conjunto han sumado un flujo financiero a Venezuela entre 2000-2018 del orden de los \$187 mil millones de dólares (Piña [2019](#)). Además, ante el embargo de los Estados Unidos a las cuentas del gobierno venezolano, China esta jugando un papel fundamental ya que el país cuenta con cuentas bancarias en yuanes que ha propuesto a sus acreedores usar para liquidar sus obligaciones ante la hiperinflación y la escasez de dólares (Reuters [2019b](#)). En el caso de Colombia, China ha cobrado también cierta relevancia como destino de exportaciones además de las inversiones en el sector energético y de los tratados de inversión (Liss [2018](#)).

Sin embargo, Dussel Peters ([2019a](#)) destaca el dinamismo reciente de la inversión extranjera china (OFDI, por sus siglas en inglés) en cuanto a los sectores y países a los que se dirige mostrando cambios sustanciales de los sectores de materias primas hacia manufacturas y de los principales países mencionados arriba, como Brasil y Argentina, a Perú y Chile con el 63.03% y 16.31% de la OFDI China de 2018 en ALC, respectivamente (Dussel Peters [2019b](#)).

A pesar de la gran predominancia de fósiles en su matriz energética, y de que las principales inversiones chinas en la región de ALC se han concentrado en dicho tipo de energías, China también se ha convertido en el principal inversor en energías renovables del mundo. China se mantuvo en 2017 como el principal destino de inversiones en energía, crecientemente dirigidas a electricidad con bajo contenido de carbono (paneles solares y eólica) y redes eléctricas, así como a eficiencia energética. China es actualmente el mayor mercado para las inversiones de redes eléctricas incluyendo la inversión en tecnologías que amplían la flexibilidad de los sistemas eléctricos para la integración de renovables y nuevas fuentes de demanda. En este sentido son crecientes las inversiones en tecnologías de redes inteligentes incluyendo medidores inteligentes, equipo avanzado de distribución y estaciones para la carga de vehículos eléctricos (IEA [2018a](#)).

Un elemento primordial del liderazgo de China en los sistemas inteligentes es el desarrollo y despliegue de su tecnología 5G que aumenta la velocidad de transmisión de datos



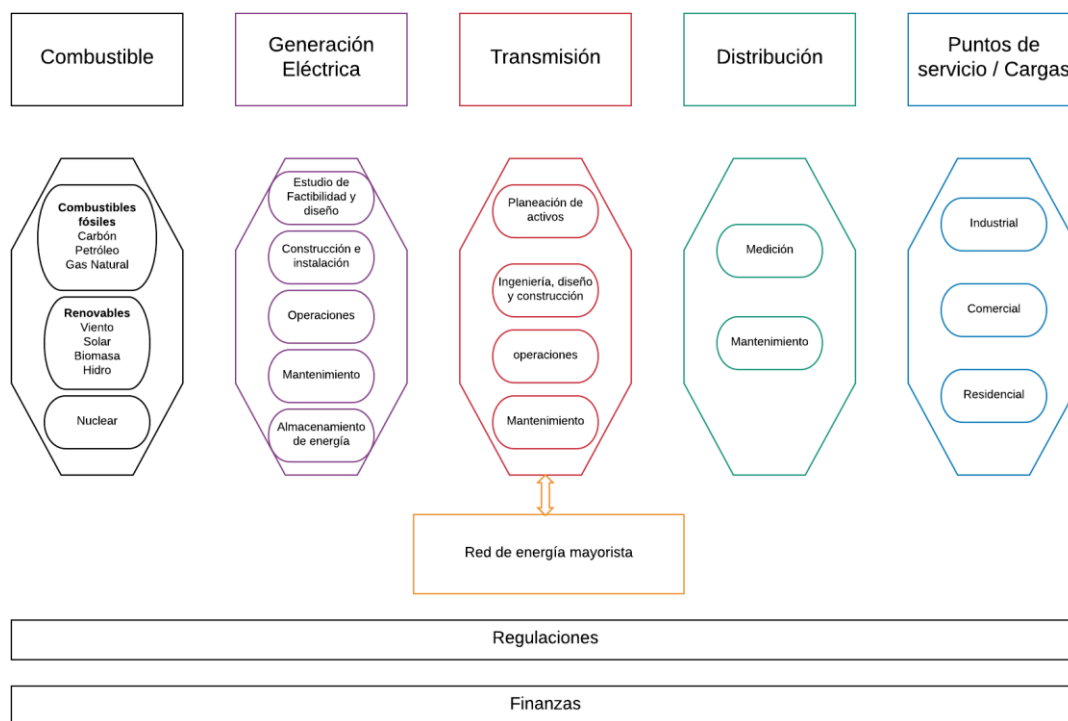
haciendo posible una respuesta en tiempo real aún estando a miles de kilómetros de distancia, así como los niveles de seguridad que dicha tecnología ofrece para las redes inteligentes, la recolección de datos y su procesamiento (IEA [2018a](#)).

La cadena global de valor de energía eléctrica

La cadena de valor de energía (CGV) es una parte medular de cualquier economía y un referente del desarrollo socioeconómico de cualquier país. La cadena global de valor de energía requiere inversiones masivas de capital, y particularmente la CGV de energía eléctrica requiere el desarrollo de capacidades locales a través de múltiples segmentos. A diferencia de otras CGV, en el caso de la CGV de energía, los países deben evaluar cómo incrementar su capacidad de abastecimiento de energía y de generación de electricidad, así como efectiva y eficientemente distribuirla en su territorio (Bamber et al. [2014](#)).

El crecimiento económico va acompañado de un incremento en la demanda energética, a la cual los países responden adoptando nuevas tecnologías, como el fracking, energías renovables, mejorando o expandiendo procesos e infraestructura existente, o involucrándose en nuevas actividades, estos procesos son conocidos como escalamientos y permiten a los actores en las CGV el capturar mayor valor por su participación en el sector (Bamber et al. [2014](#)).

La cadena de valor de energía eléctrica incluye todas las actividades para la producción, distribución y consumo de energía eléctrica. Bamber et al. ([2014](#)) identifica cinco segmentos principales: abastecimiento de combustible, generación eléctrica, transmisión, distribución y servicio local o mercado final (ver fig. [@ref\(fig:CVelect\)](#)).



La Cadena de Valor de Energía Eléctrica

Sin embargo, las innovaciones tecnológicas como el desarrollo de servicios auxiliares han hecho posible el comercio de electricidad a través de las redes de transmisión. La aplicación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) permite la coordinación del flujo de electricidad entre múltiples redes de transmisión y distribución, y las tecnologías de redes inteligentes permiten un monitoreo más preciso de la demanda y oferta por parte de las compañías de energía y sus reguladores (Bamber et al. [2014](#)).

Esta integración de las TICs, los crecientes precios de la electricidad, la reducción de la disponibilidad de combustibles fósiles y las crecientes preocupaciones acerca del calentamiento global provocan que las empresas de servicio público de electricidad y los gobiernos tomen pasos sólidos para incrementar la eficiencia y confiabilidad de las redes de energía eléctrica para electricidad de alta calidad, dando origen así a la industria de redes inteligentes 4.0 (IRI 4.0) (Faheem et al. [2018](#); Nagasawa et al. [2017](#)).

La IRI 4.0 representan un escalamiento de procesos en todos los segmentos de la CGV de energía eléctrica, así como un escalamiento de producto y escalamiento ambiental, ya que incrementa la penetración de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética.



Optimiza la generación eléctrica para reducir los costos y aprovechar la incorporación del almacenamiento de energía. Optimiza los flujos de energía a través de las redes de transmisión para disminuir las pérdidas y los costos de embotellamiento, preservando la seguridad de la red, optimizando las redes de distribución e incorporando activos de generación distribuida. Asimismo, la IRI 4.0 incorpora la gestión del lado de la demanda para reducir los picos de demanda, así como los costos y las emisiones que dichos picos generan (Faheem et al. [2018](#); Nagasawa et al. [2017](#); Energy [2018](#)).

Los principios clave de la IRI 4.0 incluyen la descentralización, virtualización, capacidad en tiempo real, orientación a servicio, modularidad e interoperabilidad. Mientras las características cuantitativas fundamentales de la IRI 4.0 son la integración de datos, la adaptación flexible, comunicación segura, auto organización inteligente, optimización, orientación de servicio e interoperabilidad. Las características cualitativas requeridas por la IRI 4.0 son la latencia, el ancho de banda, las tasas de transmisión, volumen, confiabilidad, exactitud, validez y accesibilidad de los datos, la interoperabilidad y la seguridad (Faheem et al. [2018](#); Nagasawa et al. [2017](#); Energy [2018](#)).

El internet de las cosas (IdC), internet de los servicios (IdS), la integración de sistemas físico-cibernéticos, la computación en la nube, el big data y la ciber seguridad son los elementos de soporte de la IRI 4.0. Estos elementos presentan importantes retos a las TIC actuales, en donde la tecnología 5G ofrece soluciones (Faheem et al. [2018](#); Nagasawa et al. [2017](#); Spirent [2019](#)).

La respuesta de demanda o administración de la demanda, infraestructura de medición avanzada, automatización de las subestaciones, conocimiento de la situación de áreas amplias, el manejo de energía en hogares, el monitoreo de las líneas de transmisión, la gestión de apagones, la integración de vehículos eléctricos, la gestión de recursos de generación distribuidos, la gestión de sistemas de almacenamiento de poder, y el manejo de activos son aplicaciones de la IRI 4.0 que serán fortalecidas por las tecnologías base de la 5G (Nagasawa et al. [2017](#); Energy [2018](#)). Además, la tecnología 5G presenta un enorme potencial para la implementación de micro-redes inteligentes, cosecha de radiofrecuencias, automatización de la red a través de la implementación de inteligencia artificial (IA), computación en la nube y computación en niebla (CFR [2019](#); Giles and Woyke [2018](#); West [2016](#); open4innovation [2019](#)).



La tecnología 5G en la CGV de energía eléctrica

El despliegue masivo de la tecnología 5G supondrá un aumento espectacular en la disponibilidad de banda ancha, recopilación, almacenamiento, procesamiento y computación de datos, así como la incorporación masiva de aparatos a la red eléctrica, el uso de tecnologías como realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA). Esto tendrá como resultado un incremento de entre tres y cuatro veces la demanda de energía total en comparación con la tecnología 4G (Clark [2019b](#), [2019a](#)), así como importantes retos a la seguridad, confiabilidad y coordinación en la red. Al mismo tiempo, la tecnología 5G presenta soluciones para la integración masiva de recursos renovables, activos de generación distribuida, recursos despachables de almacenamiento de energía, control del lado de la demanda, y la automatización masiva de la generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica (CFR [2019](#); Giles and Woyke [2018](#); Demestichas, Adamopoulou, and Choraś [2017](#); Giordani et al. [2019](#)).

La adopción de la tecnología 5G debe ser soportada por una estrategia de evolución definida tanto por operadores como por fabricantes de equipos, es decir, los equipos 5G sustituirán paulatinamente a los de 4G hasta alcanzar una 5G realmente nativa para así garantizar que la infraestructura pueda manejar dicha evolución a través de rigurosas pruebas y validación de la red (Corona [2019](#)).

La arquitectura general de las redes 5G se basa en 5 elementos: (1) la transmisión de ondas milimétricas de entre 30 y 300 gigahertz (GHz), (2) la partición de las redes en pequeñas células con base en estaciones miniatura portables con necesidades de energía menores pero que requieren una mayor densidad en su despliegue, (3) estaciones con tecnología múltiple-entrada múltiple-salida (*MIMO*) masiva, (4) la transmisión en formación de haz (*beamforming*), y (5) tecnología totalmente dual (*full duplex*) que recibe y transmite datos al mismo tiempo y en la misma frecuencia (GMT [2017](#)). Estos elementos son la base de los pilares fundamentales de los sistemas 5G: partición de la red de punta a punta (*E2E*), arquitectura orientada al servicio, red definida por el *software* (*SDN*), y la virtualización de las funciones de red (*NFV*) (Zhou [2019](#)). El resultado es que 5G ofrece una experiencia móvil de banda ancha ilimitada, baja latencia (bajo retardo en la transmisión-propagación), proporciona una conectividad masiva para todo, desde dispositivos inteligentes operados



por humanos hasta sensores y máquinas, y es el soporte de comunicaciones críticas instantáneas de máquinas con ultra alta confiabilidad (Zhou [2019](#); Sofana et al. [2019](#); CFR [2019](#)).

Los sistemas 5G y su integración a las redes eléctricas inteligentes son una pieza clave de la revolución industrial 4.0 y como tal, su desarrollo y despliegue es visto como un sector estratégico por las dos mayores economías del mundo, Estados Unidos y China. Esto ha generado fricciones entre las dos potencias ya que China se ha posicionado como líder en el desarrollo y despliegue de sistemas 5G. Estados Unidos ha respondido a la competencia de China mediante ataques directos a la gigante china Huawei Technologies (Huawei) y mediante la prohibición de hacer negocios a las empresas estadounidenses y a otros países argumentando que la tecnología de Huawei representa un riesgo a la seguridad de los clientes de Huawei. Esto ha coincidido con el plan del presidente chino Xi Jinping de posicionar a China como dominante en los mercados globales para 2049, en donde el desarrollo tecnológico juega un papel principal con los sistemas 5G como parte medular (Kawanami and Fang [2019](#)).

Por su lado, el presidente de México, Andrés Manuel López Obrador, ha expresado su neutralidad ante el conflicto entre los Estados Unidos y China al celebrar una inversión de Singapur por 871 mdd en el corredor del Istmo de Tehuantepec, país que considera pudiera servir como un aliado para México en el sentido de mantener una buena relación con ambas potencias (F. Martínez and Jiménez [2019](#)), mientras que ninguno de los proyectos de infraestructura chinos se han concretado (Dussel Peters [2019c](#)) pero sí se ha ratificado la firma del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) (México [2019](#)).

La integración de renovables y la tecnología 5G en la CGV de energía eléctrica en China

Aún con el bloqueo comercial a Huawei, varios países europeos, incluida Inglaterra, han continuado contratos con las empresas chinas para el despliegue de sistemas 5G, lo cual es resultado de su ventaja tecnológica, específicamente en las estaciones base con antenas miniatura que son un pilar fundamental del sistema, ya que el prescindir de ellas podría haber significado un retraso en el despliegue de dichos sistemas (hasta por dos años según Huawei) y a un mayor costo. La estrategia de Huawei para mantenerse como líder 5G en



los mercados globales ha sido el desarrollo interno de tecnología base para los sistemas 5G, que antes adquiría de terceros, como los procesadores para las antenas. En el mismo sentido, Huawei y ZTE han probado y usado la tecnología totalmente duplex por años mientras otros países favorecieron el desarrollo de sistemas basados en la tecnología de división dual de frecuencias (FDD) que resulta obsoleta para los sistemas 5G (Fumie [2019](#)).

El desarrollo de la tecnología 5G se ha centrado en los servicios de redes móviles como eje para el desarrollo de ciudades inteligentes, cuidado médico inteligente, educación inteligente, logística y transporte, y **energía inteligente**. China Mobile, China Telecom y China Unicom, en alianza con Huawei, se han posicionado como las empresas chinas de mayor importancia para el despliegue de sistemas 5G en el gigante asiático. China Mobile, por ejemplo, ofrece el servicio 5G en 50 ciudades de China con vistas a desarrollar y probar infraestructura para inteligencia artificial y el internet de las cosas (Shi [2019](#); Sherisse [2019](#); Huawei [2019b](#)).

La mayor empresa de electricidad del mundo que cubre el 88% del territorio de China, *State Grid Corporation of China*, está desarrollando un sistema digital interconectado para vincular el internet de las cosas con la red eléctrica, esto con el objetivo de facilitar la propagación de las ciudades inteligentes. Actualmente China tiene alrededor de la mitad de los proyectos piloto de ciudades inteligentes en el mundo que usan tecnología 5G e inteligencia artificial para mejorar el manejo de las ciudades. En el mismo sentido, State Grid ha establecido un centro de *big data* para aplicaciones de energía incluyendo el análisis de consumo de energía industrial y análisis de la actividad de un parque industrial (Wagman [2019](#); State Grid [2019](#)). Mientras tanto, en los Estados Unidos, el departamento de energía presentó los resultados del *2019 Grid Modernization Lab Call* con el financiamiento por 3 años de 80 millones de dólares para proyectos enfocados al modelaje de resiliencia, almacenamiento de energía y flexibilidad del sistema, sensores avanzados y análisis de datos, soporte institucional y análisis, seguridad ciber física y generación (Wagman [2019](#); Energy [2019](#); Grid [2019](#)).

China Southern Power Grid Company Limited (China Southern Power Grid), la segunda empresa pública de energía eléctrica en China, en conjunto con China Mobile y Huawei ha realizado pruebas en terreno de redes 5G. Las principales pruebas exitosas han sido en la latencia de extremo a extremo, automatización de la red eléctrica, y la partición de la red



que satisface las necesidades físicas y lógicas de aislamiento de las redes eléctricas (Huawei [2019a](#)).

Además, China ha desarrollado rápidamente en años recientes su industria de energía renovable. Las estadísticas muestran que China se ha convertido en el mayor inversor en energías renovables, y sus exportaciones han crecido rápidamente hasta colocarla en el primer sitio a nivel global con \$83.40 mil millones de dólares en 2016, 24.31% de las exportaciones mundiales (Cao, Rajarshi, and Tong [2018](#)).

De acuerdo con el reporte de 2019 sobre inversión en renovables (Frankfurt School, UNEP, and BloombergNEF [2019](#)) para el periodo 2010-2019, dentro del top 20 a nivel mundial, China ha sido el inversor número uno con un acumulado de \$758 mil millones de dólares, seguida por los Estados Unidos con \$356 mil millones de dólares. En el caso de América Latina y el Caribe, Brasil se ubicó en el primer sitio acumulando \$55 mil millones de dólares, seguido por México con \$23 mil millones de dólares, y Chile con \$14 mil millones de dólares. En el mismo sentido, China ha invertido en el desarrollo de líneas de transmisión de ultra alto voltaje para acercar la demanda y la oferta de energía eléctrica en diferentes partes de su territorio, incluyendo generación con base en plantas de carbón como generación con base en renovables (Reuters [2019a](#); Downie [2018](#); Lempriere [2019](#)).

Por otro lado, llama la atención la conclusión de Cao, Rajarshi, and Tong ([2018](#)) sobre la disminución de la complejidad tecnológica de las exportaciones chinas de productos para energías renovables (PER) entre 2007 y 2016. Las principales pérdidas se dieron en los bienes de alta complejidad tecnológica (6.28% en 2007 vs 4.58% en 2016) y medio-alta complejidad tecnológica (51.60% vs 50.28%), mientras los productos de media complejidad tecnológica presentaron el mayor incremento en las exportaciones chinas de PER (22.85% vs 25.29%). El incremento en las exportaciones de los productos de complejidad tecnológica medio-baja fue marginal (15.90% vs 16.01%) al igual que los de baja complejidad tecnológica (3.37% vs 3.84%).

Las principales exportaciones para 2016 de China de productos para energías renovables fueron las celdas solares y los invertidores que cuentan con una complejidad tecnológica medio-alta, así como las estaciones solares de poder y el equipo de iluminación solar con una complejidad tecnológica media (Cao, Rajarshi, and Tong [2018](#)). Esto resulta relevante a la luz de que las tecnologías de energía solar han sido las que han atraído las mayores



inversiones en capacidad de generación, aunque disminuyeron en 2018 en comparación con 2017 debido principalmente a una contracción en China. Asimismo, los costos nivelados de la generación eléctrica con renovables han caído dramáticamente en la última década (2010-2019), observándose una reducción de 81% en energía solar fotovoltaica, 46% para eólica en tierra, y 44% para eólica en costa (Frankfurt School, UNEP, and BloombergNEF [2019](#)).

A nivel global el porcentaje de nueva capacidad instalada neta para generación de electricidad con renovables (excluyendo grandes hidroeléctricas) alcanzó 68% en 2018. Sin embargo, la generación de electricidad con renovables solamente representó 12.9% en 2018 que se compara con 11.6% de 2017. Como resultado observamos que aunque a un menor ritmo, la generación de electricidad mediante energías fósiles sigue aumentando en términos netos y con ello las emisiones de carbono (Frankfurt School, UNEP, and BloombergNEF [2019](#)).

Además, alrededor de mil millones de personas siguen sin acceso a electricidad, y las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzaron otro máximo histórico en 2018. En perspectiva, incorporando las nuevas promesas políticas para la reducción de GEI, el crecimiento de la demanda energética será de 1% al año hasta 2040, cubierto en más de 50% por la generación de renovables principalmente energía fotovoltaica y un tercio por generación con gas natural. Como resultado, la expansión de la demanda energética continúa incrementando las emisiones de GEI alcanzando un pico no antes de 2040 lejos de los objetivos de desarrollo sustentable (ODS). La seguridad energética y los riesgos asociados a la inestabilidad en el suministro de fósiles, así como una mayor demanda derivada de eventos de climas extremos y ciber ataques a la red seguirá presionando la demanda de energía fósil. China lanzará en 2020 el sistema nacional de comercio de emisiones. Se espera dicho sistema se expanda para 2040 a Brasil, Rusia y Sudáfrica. China, Estados Unidos y la Unión Europea juegan un papel predominante en la transición energética reduciendo su dependencia de fósiles, Sin embargo, la demanda de India y el Sudeste Asiático compensará la reducción de China, Estados Unidos y Europa. No obstante, la reducción dramática del costo de las energías renovables y la integración de las tecnologías digitales, especialmente los sistemas 5G, crean una ventana de oportunidad para una rápida transición energética (IEA [2019](#)).



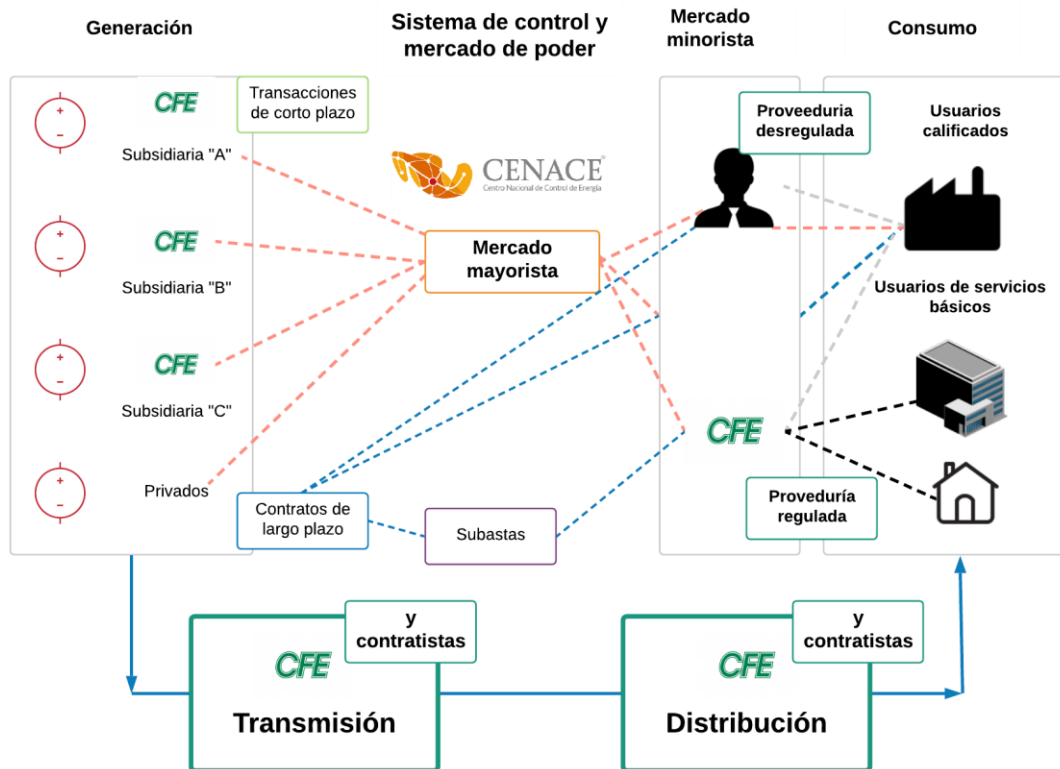
La cadena global de valor de energía eléctrica en México

La *Reforma Energética* promulgada en 2013 abrió el sector energético a la participación privada. Los argumentos a favor sostenían su necesidad para la transformación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petróleos Mexicanos (PEMEX) en empresas productivas del Estado Mexicano 100% autónomas, con el objetivo de fortalecerlas como entes independientes, transitar hacia mercados competitivos, y atraer inversión privada al sector energético. Como resultado se prometió un sector energético eficiente, de calidad y confiable con empresas públicas y privadas fuertes y competitivas, la reducción de precios de la electricidad y de los energéticos derivados del petróleo. La reforma energética también combatiría la corrupción en el sector, fortalecería los ingresos petroleros con responsabilidad social y protección al medio ambiente (República [2013](#)).

La principal problemática planteada en la cadena de valor de electricidad fue que la eficiencia, competitividad y rentabilidad de la misma estaban por debajo de los niveles óptimos debido a la exclusividad de la CFE para suministrar el servicio público de energía eléctrica. La CFE estaba encargada de la planeación y financiamiento de los proyectos de gran envergadura, en particular los relacionados con energías renovables de bajo costo, las inversiones en la red de transmisión para la generación y la demanda, y enfrentaba pérdidas de 21% de la producción, 15% por de energía no cobrada. Como resultado de la reforma se constituyó un sistema en donde la CFE compite en la generación de energía eléctrica y su venta al público, mientras los particulares generan energía para la venta al Mercado Eléctrico Mayorista, a suministradores o usuarios calificados (República [2013](#)). La CFE se dividió en empresas independientes con limitantes en su comunicación para evitar que de nuevo se creara una empresa preponderante en el sector. En ese sentido, se determinó que la fragmentación de la CFE se evaluaría incluso a nivel de nodo (López [2005](#)).

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), anteriormente parte de la CFE, se convirtió en un organismo público descentralizado operador del sistema eléctrico nacional (SEN) con el objetivo de garantizar a todos los generadores del mercado acceso abierto y equitativo a la red nacional de transmisión y a las redes generales de distribución (República [2013](#)). Así, de una estructura monopólica se pasó a un mercado regulado con la CFE como empresa preponderante en desmantelamiento para eliminar su preponderancia

en todos los segmentos de la cadena de valor de energía eléctrica en donde el control y supervisión del mercado es ejercido por el CENACE. Asimismo, podemos observar en la *figura @ref(fig:IndElecMex)* que la participación de los privados se amplió a todos los segmentos de la cadena de valor de energía eléctrica y que la regulación favorece su integración.



Estructura de la Industria Eléctrica en México

El CENACE tiene la responsabilidad de la formulación de proyectos que ayuden a la mejora y ampliación de la red eléctrica nacional y ha emprendido proyectos para la demostración del desempeño de recursos de almacenamiento de energía y cómo el almacenamiento puede contribuir a la seguridad operacional. También en el desarrollo de herramientas de cálculo que puedan proveer información acerca de la capacidad de transmisión de las líneas basados en los límites térmicos actuales, potencialmente proveyendo una mayor habilidad para integrar recursos variables (Binz et al. [2019](#)).



Así, podemos observar que a partir de la *Reforma Energética* se han emprendido esfuerzos para el desarrollo de redes inteligentes en México bajo la coordinación de la Secretaría de Energía (SENER) en conjunto con la CFE, el CENACE y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). La definición legal de una red inteligente en México es *una red que integra tecnologías avanzadas de medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otras, para mejorar la eficiencia, confiabilidad, calidad o seguridad del Sistema Eléctrico Nacional*. Los principios que han guiado el establecimiento de redes inteligentes en México son (*Ley de Transición Energética* [2015](#); Binz et al. [2019](#)):

1. Mejorar la calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad.
2. Mejorar la calidad de la oferta.
3. Incrementar la eficiencia energética.
4. Reducir las pérdidas de electricidad.
5. La operación eficiente de la red nacional de electricidad.
6. Mayor despliegue de energía limpia.
7. Incremento del involucramiento del consumidor en la gestión del sistema
8. Oferta de servicios adicionales

En la *Ley de Transición Energética (LTE)* se estableció el objetivo de 35% de generación de energía limpia para 2024, con objetivos intermedios de 25% en 2018 y 30% para 2021 en concordancia con lo acordado por México en la Cumbre Climática de París (*Ley de Transición Energética* [2015](#)). El último reporte al primer semestre de 2018, da cuenta de que el 24.18% de la generación de electricidad provino de fuentes limpias, con 17.29% de fuentes renovables por lo que México se encontraba ligeramente por debajo del objetivo planteado a mitad del 2018 (Rodríguez et al. [2018](#)).

La ley también establece las metas de eficiencia energética y un proceso anual para promover la penetración de las energías limpias, incluyendo la generación distribuida. SENER es responsable de la planeación de las redes de transmisión y distribución, y publica anualmente el Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN). En este la SENER presenta los planes para expandir la generación y trabaja con el CENACE y la CFE para incluir la expansión propuesta y la modernización de la red de transmisión nacional y las redes generales de distribución, así como recomendaciones



para instalar y retirar plantas de poder (*Ley de Transición Energética* [2015](#); Binz et al. [2019](#)). La capacidad instalada de México es principalmente en ciclo combinado, termales, carbón, y plantas hidráulicas con un muy pequeño porcentaje de energías limpias. El análisis de reconversión de plantas de carbón a gas natural arrojó que no sería costo-eficiente. La región norte del país tiene el mayor potencial para energía solar.

En proceso de integración

Las principales empresas a las que México tiene acceso por segmento de las redes inteligentes son:

- Seguridad

Tofino / McAfee / Symantec / Lockheed Martin

- Integración y consultoría

Computer science Corporation (CSC) / Wipro / Science Applications International Corporation (SAIC) / Capgemini / Accenture IBM / Bridge Energy Group /

- Red Suave / Almacenamiento y análisis de datos

Rackspace / SAS / Oracle / EcoFactor / Cisco / IBM / Teradata / VMware / EMC² / SpaceTime Insight

- Soporte de la red / Gestión de energía distribuida

Xtreme Power / A123 Systems / NGK Insulators / ClipperCreek / AeroVironment / Beacon Power / ECotality / Coulumb Technologies Better Place / Ice Energy

- Operaciones de la Red / Control y monitoreo de la red

Schneider electric / Ventyx / Siemens / Open Systems International Alstom / Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) / GE

- Transmisi[on / Aplicaciones y controles de área ancha (Wide area)

Shweitzer Engineering Laboratories (SEL) / ABB / Alston Siemens / GE



- Automatización de la Distribución / Control de confiabilidad, monitoreo de tiempo real y control inteligente

ABB / Cooper Power Systems / Schneider electric / Tavrída Electric Xian Electric Group (XD Group) / Efacec / Hitachi / Alstom S&C Electric Company / Shweitzer Engineering Laboratories (SEL) / Siemens / Crompton Greaves / Mitsubishi Electric / Eaton / GE /

- Infraestructura de Medición Avanzada (IMA) / Gestión de Energía Distribuida

eMeter (A siemens Business) / Itron / Aclara / Ecologic Analytics / Oracle / OSIsoft / Silver Spring Networks / Trilliant / Cisco / Telvent EnergyICT (An Elster Group Company) / ElectSolve Technology Solutions & Services, Inc. / Northstar / Landis+Gyr / Sensus / Elster /

- Comunicaciones / Plataforma de la Red

Current / Elster / Proximity / AT&T / Verizon / Cisco / Sensus Ericsson / Ruggedcom / Alcatel-Lucent / Huawei / Ambient S&C Electric Company / Tropos

- Gestión del lado de la Demanda / Sistemas de Gestión de Energía, portales y aplicaciones

Enermoc / Comverge / Constellation Energy / Viridity Energy / Honeywell / Alektrona / Opower / EnergyHub / Tendril / Ecofactor / Johnson Controls / Verdiem / Sentilla

La red inteligente puede contribuir a que México cumpla sus metas de energía limpia. Adecuadamente diseñadas y ejecutadas, las inversiones en la red inteligente pueden cumplir múltiples objetivos, tal como la modernización y expansión de la red de transmisión, ayudando así a integrar grandes volúmenes de energía renovable y mejorando la estabilidad y seguridad de la red (Binz et al. [2019](#)).

Medidas de red inteligente para cumplir objetivos nacionales en México

Generación - Proveeduría: Instalación de unidades de medida de fase (UMF) en terminales de generación grandes y sitios de renovables de escala comercial para monitoreo y respuesta activa durante algún evento de la red y para la validación del modelo de generador. Instalación de *lidar* u otro instrumento para una mejor predicción. **Transmisión:** Desarrollo de los datos de las UMF para el análisis de los apagones post-mortem. Adquirir



software y tecnología de la información (TI) para el uso en tiempo real de los datos de las UMF. Instalar aparatos de Sistemas Flexibles de Transmisión de Corriente Alterna (FACTS) para el control de la transmisión. Instalar tecnología smart wire y sistemas de control de monitoreo, protección y control de área ancha. **Distribución:** Implementar FLISR e integrarlo en los sistemas de negocio. Instalar sensores en todos los transformadores secundarios para mejorar la gestión de apagones y mantenimiento preventivo. **Premisas de usuarios:** Implementar carga interrumpible, precios de carga crítica, u otras tarifas que reduzcan las cargas para incrementar la capacidad de los días pico; alternatively, una empresa pública o agregadores privados podrían suscribir consumidores y subsecuentemente pujar en el mercado eléctrico mayorista.

Generación - Proveeduría: Mejora en la predicción de los recursos renovables para permitir la integración suave de grandes cantidades de recursos renovables. Implementar la planeación de largo plazo que capture la diversidad geoespacial y la variabilidad temporal de los recursos renovables, a la par de trayectorias de costo realistas e interacciones con otros generadores, transmisión, almacenamiento, y recursos distribuidos. **Transmisión:** Evaluar y co-optimizar proyectos potenciales de transmisión que considere el potencial despliegue de energía renovable. **Distribución:** Implementar almacenamiento de energía y control de carga para habilitar una mayor penetración de renovables. Habilitar generación distribuida a nivel residencial. Desplegar generación combinada de poder y calor para clientes comerciales para reducir la generación de fósiles. **Premisas de usuarios:** Investigar que tanto los recursos distribuidos y la eficiencia energética podrían contribuir a (1) La capacidad de la empresa y (2) reducir la restricción asumiendo una alta penetración solar y eólica. **Otros/combinados:** Uso de inversores inteligentes para optimizar el uso de generación solar distribuida. Se requerirán 11 mil 646 millones de pesos para desarrollar proyectos de Redes Eléctricas Inteligentes (Energía [2017](#)).

El segmento de energía renovable en México

La capacidad de generación de energías renovables se incrementó 37% de energía solar y eólica con la primera subasta, en comparación a los 18 años previos. La segunda subasta 6 meses más tarde añadió 98% a la capacidad instalada de energía solar y eólica en comparación a los 18 años previos. Con estos resultados, México ha sido capaz de



satisfacer el 5.1% del consumo energético anual del país. Cabe destacar que los precios promedios ponderados por tecnología de la primera subasta fueron considerados los más bajos en el mundo (USD 45/MWh para solar y USD 55/MWh para eólica) y han continuado bajando en las subsiguientes subastas. En la segunda subasta los precios bajaron a USD 31.9/MWh (-29%) para solar, y USD 35.8/MWh (-35%) para eólica y geotérmica. Una característica en el desarrollo de la nueva generación es que el gobierno ha aplicado ajustes a las precios marginales nodales para incentivar la instalación de mayor generación en donde la demanda es mayor que la oferta (Binz et al. [2019](#)). Esto es congruente con el desarrollo tradicional de los mercados y sistemas eléctricos, sin embargo, es contrario a la integración masiva de renovables ya que éstos recursos se ubican lejos de los núcleos de demanda y requieren el desarrollo de líneas de transmisión.

CFE transmisión ha estado invirtiendo en la comunicación y automatización de la red inteligente para visualizar mejor el estado actual de la red de transmisión. CENACE y CFE Transmisión se han propuesto usar tecnologías de unidades de medidor de fase (PMU, por sus siglas en inglés) y Sistemas Flexibles de Transmisión de Corriente Alterna (FACTS, por sus siglas en inglés) para mejorar el desempeño de la red mediante la provisión de flujo de poder y cálculos angulares. Los PMUs proveen estimaciones en tiempo real del estado de la red para mejorar la calidad y confiabilidad del poder. Los sistemas FACT mejoran el control del desempeño de la red incrementando su confiabilidad y la capacidad de transferencia de poder. El objetivo es automatizar al menos 80% de las subestaciones existentes y 100% de las nuevas estaciones para 2024. Para finales de 2016, 47.1% de las subestaciones del Valle de México y 33.2% del interior del país estaban equipadas con el monitoreo requerido para el programa de localización, aislamiento y restauración de fallas (FLISR). Este programa ha contribuido a mejorar el tiempo de interrupción en 40%, de un promedio de apagón de 58.2 minutos en 2011 a 31.7 minutos en 2016 (Binz et al. [2019](#)).

El nuevo gobierno ha impulsado la inclusión de certificados de energía renovable (CEL) de las plantas que ya habían sido establecidas antes de la reforma energética por parte de la CFE, esto juega en contra de los incentivos a la promoción de las energías renovables ya que los CEL disminuyen los costos financieros al ser comercializables. Y si bien, las plantas de la CFE, principalmente hidroeléctricas, son de bajas emisiones de carbono, mundialmente las grandes hidroeléctricas no son consideradas como energías renovables,



representan una importante fuente de riesgo ante los efectos del cambio climático, y juegan en contra de la promoción de la expansión de energías renovables en el país. Por el momento, la inclusión de dichas plantas se encuentra congelada por la *suspensión a las modificaciones de la Secretaría de Energía para los lineamientos de otorgamiento de certificados de energía limpia (CEL)* con la admisión de más de 20 juicios de amparo. Sin embargo, esto añade incertidumbre al mercado de CELs ya que el precio de los CEL podría desplomarse 70%, de los actuales 12-17 dólares hasta 2 o 3, puede afectar las finanzas de proyectos que entraron en funcionamiento con la reforma y desincentivar proyectos en que los CELs jugarían un papel importante (García [2019](#)).

La tecnología 5G en México y su penetración en la cadena de valor de energía eléctrica

La tecnología 5G en México ha sido considerada principalmente para el desarrollo de la red de telefonía móvil. Actualmente se ha avanzado en la asignación del espectro radioeléctrico y se espera que el despliegue de la telefonía con servicio 5G comience en 2019, alcanzando una penetración importante para 2025. Sin embargo, Telefónica Movistar y América Móvil coincidieron en que los precios del espectro radioeléctrico para 5G deben ser evaluados pues no pueden mantenerse los mismos que para 2G, 3G y 4G pues son de los más elevados en la región (C. Martínez [2019](#)). Telcel va a la punta con una inversión de 8,000 mdd desde 2018 en el despliegue de 4.5G (Corona [2019](#)). 5G podría llegar hasta en 3 y 4 años a una parte importante de la población mexicana (Báez [2019](#)).

También se observa que la tecnología 5G será desarrollada en ambientes privados como las fábricas para su automatización (Báez [2019](#)). Mientras algunos de los participantes del mercado han visto el acceso al espectro radioeléctrico como el principal cuello de botella, otros argumentan que en lo que se ha avanzado más lentamente es en el desarrollo de la infraestructura, específicamente en fibra óptica. Es ese sentido, abogan por un ordenamiento que permita el acceso a la fibra del jugador local o regional preponderante para no duplicar el despliegue de infraestructura. Por ejemplo, de 8,000 mdd de dólares, AT&T ha invertido 4,000 mdd en infraestructura en lugares que ya contaban con la misma



y que con un ordenamiento adecuado del mercado hubiese podido beneficiar a una mayor parte del territorio nacional (Armenta [2019](#)).

Qualcomm, la principal empresa estadounidense en el desarrollo de la tecnología 5G, tiene acuerdos con dos de los principales operadores del país de telefonía móvil (Corona [2019](#)). La mayor parte del consumo de electricidad es en la gran y mediana industria, el sector residencial representa 26% del total (INEGI [2018](#)), estas características del mercado mexicano de energía eléctrica son muy relevantes para delinear la estrategia de implementación de las redes inteligentes en donde la gestión del lado de la demanda pretende influenciar la cantidad o patrones de uso de la energía eléctrica por los consumidores de uso final (MIT [2017](#); SENER [2017](#)).

El desarrollo de redes inteligentes en México, que hasta ahora no ha contemplado la integración de tecnologías 5G, y la integración de energías renovables ofrecen una propuesta de valor que excede los 50 mil millones de pesos en relación a hacer nada (MIT [2017](#)). La creación de redes inteligentes está en función de los objetivos de reducción de pérdidas, eficiencia en la red y la penetración de energía renovable distribuida que podrían requerir potenciales inversiones en redes inteligentes. Sin embargo, a diferencia de los líderes mundiales en el desarrollo de las redes inteligentes con tecnología 5G, en México no se observa dicho desarrollo como una base estructural para el escalamiento de la cadena de valor global de la energía eléctrica, ni como columna vertebral de la industria 4.0, ni por la CRE, el CENACE, o la CFE, ([2017](#); SENER [2017](#)).

Proyectos de CFE Transmisión y CFE Distribución para el desarrollo de las redes inteligentes

- Operación remota y automatismo en redes de distribución

Fase 1: Análisis y reconfiguración de la red de media tensión. Fase 2: Análisis para determinar cuáles circuitos de media tensión se deben tele controlar. Fase 4: Elaborar el plan de crecimiento y ubicación del equipo de protección y seccionamiento. Se implementarán tecnologías de comunicaciones para el telecontrol de los equipos de protección, seccionamiento, e indicadores de corriente de falla, así como el uso del sistema SCADA incorporándolos al Sistema de Automatización de la Distribución (SENER [2017](#)).

Sistema de información geográfica de las RGD



Este proyecto tiene el propósito de unificar las diferentes tecnologías de información geográfica y eléctrica de las RGD con que cuenta actualmente CFE Distribución, a través de un Sistema de Información Geográfica que le permita integrar dichas tecnologías y contar con la capacidad para compartir e intercambiar información espacial de la infraestructura del sistema de distribución. A través de un bus de datos basado en el modelo CIM, se puede lograr la máxima eficiencia en la realización de actividades empresariales, apoyándose en fuentes de información geográfica e información correlacionada con el proceso de distribución, internas y externas (SENER [2017](#)).

Infraestructura de medición avanzada

El proyecto consiste en la instalación de medidores intercomunicados con un sistema informático de gestión, el cual tiene la capacidad de administrar las principales actividades comerciales de manera automática y remota, como lo son: toma de lecturas, corte, reconexiones, informe de fallas en las RGD y anomalías en el medidor. La Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) es fundamental para el desarrollo de la Red Eléctrica Inteligente debido a que permite tener una eficiente recolección de datos, aumentar la consistencia de la información y reducir las pérdidas no técnicas en las Redes Generales de Distribución (SENER [2017](#)).

Arquitectura empresarial para la Red Eléctrica Inteligente

La separación de la CFE, derivada de la Reforma Energética, ocasiona que cada una de las subsidiarias tenga una nueva arquitectura empresarial que se adapte a sus nuevas responsabilidades conferidas por la LIE. Las nuevas empresas productivas del Estado deberán buscar maximizar las capacidades de negocio, en donde la mezcla de los activos actuales y las nuevas inversiones no generen funcionalidades duplicadas y que las nuevas adquisiciones se alineen a la visión unificada de Red Eléctrica Inteligente y a sus objetivos empresariales propios (SENER [2017](#)).

Estrategia de ciberseguridad

Desarrollar una estrategia de ciberseguridad para el CENACE, CFE Transmisión y CFE Distribución, en donde se busque proteger la infraestructura eléctrica, de telecomunicaciones y de control, así como la información del Mercado Eléctrico Mayorista. Los Suministradores de Servicios Básico y Calificado deberán adoptar los requerimientos de ciberseguridad necesarios dentro de sus atribuciones (SENER [2017](#)).



Despacho óptimo de potencia reactiva

Durante este proyecto se evaluarán los beneficios de herramientas de software para la programación y despacho de los recursos de potencia reactiva. El primer paso consiste en identificar las herramientas disponibles y seleccionar la más adecuada con base en una evaluación general. Después, se pondrá a prueba el software seleccionado, utilizando datos históricos. Si los resultados son satisfactorios, se decidirá aplicar la herramienta y se realizará un procedimiento de medición y verificación apropiado para cuantificar los beneficios y evaluar el desempeño (SENER [2017](#)).

Investigación sobre el uso de nuevas tecnologías para asistir el proceso de arranque negro

Este proyecto tiene como objetivo investigar cómo las nuevas tecnologías, que aún no se encuentran implementadas en el SEN, tales como HVDC VSC y almacenamiento de energía, podrían ser utilizadas en el futuro para proporcionar una capacidad de arranque negro adicional y apoyar en el proceso de restablecimiento del sistema eléctrico, teniendo en cuenta los proyectos futuros de ampliación y modernización de la RNT y las RGD que pertenecen al MEM (SENER [2017](#)).

Demostración e implementación de herramientas inteligentes que guíen el proceso de restablecimiento

El proyecto, primero servirá para identificar las herramientas disponibles, haciendo énfasis en aquellas que se pueden licenciar, el software con código abierto o herramientas prototipo en fase avanzada de desarrollo. Es decir, herramientas que son lo suficientemente maduras para su implementación en el SEN. Después, se realizará una evaluación completa de las herramientas seleccionadas mediante la simulación de una serie de casos y escenarios de restablecimiento. Las herramientas seleccionadas serán posteriormente implementadas y desplegadas en los Centros de Control para el uso de los operadores del sistema y los expertos en la materia (SENER [2017](#)).

Demostración e implementación de herramientas inteligentes que guíen el proceso de restablecimiento

Este proyecto evaluará los beneficios, para eventualmente poner en práctica herramientas de soporte a las decisiones del operador mediante el conocimiento integral del comportamiento del Sistema en condiciones de emergencia y restablecimiento. Algunas



herramientas de software están disponibles para ayudar a los operadores a identificar caminos óptimos de restablecimiento y su respectiva secuencia, paso a paso, cuando el sistema está siendo restaurado después de un evento de fuerza mayor (SENER [2017](#)).

Demostración del almacenamiento de energía y su integración en la operación

Con el incremento de la penetración de las fuentes de energía renovables en el sistema, aumentará el valor del almacenamiento de energía, como un recurso para almacenar la energía proveniente de estas fuentes, la contribución a los servicios conexos y a diferir inversiones de nueva infraestructura eléctrica. Este proyecto se centrará en entender las necesidades del almacenamiento de energía en México y a demostrar cómo podría utilizarse en la operación para ayudar a mantener la confiabilidad y mejorar la eficiencia del sistema, incluyendo un número de proyectos de demostración (SENER [2017](#)).

Pronóstico de generación eólica y solar para la operación

Este proyecto permitirá identificar tecnologías de pronóstico actuales y futuras que puedan aprovecharse en la operación del sistema y comenzar a desarrollar estas competencias en México. El proyecto se basará en los pronósticos existentes para la energía eólica y solar. Esto dará lugar a que los operadores del sistema tengan mayor conocimiento sobre las escalas relevantes espaciales y temporales y así poder integrar con éxito los niveles previstos de energía eólica y solar. Adicionalmente, a la mejora puntual del pronóstico de estos recursos, incluirá también, el uso de información probabilística para mejorar la operación del sistema y para pronosticar la demanda a nivel circuito de distribución, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas y estacionales (SENER [2017](#)).

Red de medición fasorial de nueva generación

Para mantener la confiabilidad y la estabilidad de la RNT a medida que un mayor porcentaje de generación renovable se interconecta a esta, será necesario tener una mayor conciencia situacional. La Red Nacional de Medición Fasorial (RNMF) jugará un papel fundamental para brindar el conocimiento necesario de la situación actual del sistema (SENER [2017](#)).

Herramienta para la evaluación en tiempo real de la seguridad operativa

Una de las funciones clave para la operación del sistema es garantizar la seguridad de estado estable del criterio N-1 y condiciones seleccionadas N-2, así como la estabilidad de tensión, frecuencia y transitoria. Este proyecto se centra en identificar las necesidades e



implementar herramientas para informar a los operadores respecto a la estabilidad del sistema; lo que podría ocurrir en las próximas horas y las acciones que deben tomarse para asegurar la confiabilidad (como reducción de generación eólica o solar). También, consiste en asegurarse que los modelos usados para los nuevos recursos de generación incorporados al sistema son válidos (SENER [2017](#)).

Incorporación de métodos basados en riesgo y flexibilidad en el proceso de planeación

Este proyecto involucrará la adopción de técnicas probabilísticas para extender los procesos existentes de planeación a fin de considerar la incertidumbre del viento y la energía solar fotovoltaica y asegurar, así, el cumplimiento de los objetivos de confiabilidad del sistema a un costo accesible (SENER [2017](#)).

Respuesta de la demanda para asistir la operación de la red

Este proyecto es esencial para el MEM debido a que en 2018 los usuarios calificados podrán ofrecer respuesta de la demanda. Por tanto, el proyecto se centrará en comprender el comportamiento de diferentes tipos de carga en México e identificar con base en ello las funciones de respuesta de la demanda que pueden ser útiles para mantener la confiabilidad y aumentar la eficiencia del SEN. Adicionalmente, el aumento de los niveles de fuentes de energía renovables en México hace que la respuesta de la demanda pueda llegar a ser muy importante para el balance carga/generación (SENER [2017](#)).

Investigación sobre el uso de límites dinámicos en líneas de transmisión

Este proyecto pretende demostrar el uso y los beneficios potenciales de la tecnología de determinación dinámica de límites de transmisión (DLR) en el Sistema Eléctrico Nacional. La primera parte del proyecto consiste en una evaluación de las opciones disponibles de la tecnología (DLR) y los productos comerciales existentes, así como la selección preliminar de sitios potenciales para la instalación. En una segunda fase, la tecnología seleccionada será instalada y probada en las líneas de transmisión elegidas durante un período predefinido de tiempo (12 meses o más) a fin de verificar y documentar su rendimiento. La correlación de los límites dinámicos con la generación eólica será evaluada. Posteriormente, se realizará una evaluación de los beneficios potenciales en términos de la reducción del costo por reducción de la congestión, reducción de emisiones, mejoras en el factor de utilización y reducción de los cortes de generación eólica. Otros beneficios adicionales como mejorar, en tiempo real, las acciones correctivas con base en una mejor



información de la capacidad de transmisión de las líneas de transmisión y la seguridad del sistema, también se incluirán en la evaluación (SENER [2017](#)).

Estudio e implementación de herramientas inteligentes que guíen el proceso operación física de la RNT

Tiene como función principal dar la seguridad, confiabilidad y disponibilidad para operar las subestaciones de potencia y líneas de la Red Nacional de Transmisión, por lo que es necesario contar con una arquitectura que permita tener redundancia y una alta disponibilidad de los Centros de Control, que cumpla con estándares internacionales de los centros de datos, una flexibilidad que permita dar un servicio seguro, reduciendo los riesgos y costos derivados de la arquitectura actual y que cuente con la capacidad de interactuar con otras aplicaciones a través del Modelo de Información Común (CIM) y con mecanismos para interactuar con sistemas SIG (SENER [2017](#)).

11.2 Localización automática de fallas

Se evaluarán los beneficios de implementar un Sistema de Localización y Prevención de Fallas mediante el principio de Onda Viajera, para automatizar el proceso, lo que permitirá ubicar el punto de falla en una línea de transmisión (SENER [2017](#)).

Desarrollo de un sistema de diagnóstico de interruptores de potencia y subestaciones encapsuladas (GIS) en gas hexafluoruro de azufre (SF₆)

Se incrementará la confiabilidad de la Red Nacional de Transmisión al contar con un sistema de diagnóstico en línea del punto de rocío y subproductos más importantes generados por las descargas parciales y extinción del arco a través del sistema aislante SF₆, con lo cual impactará positivamente en la evaluación del desempeño y estado de los interruptores de potencia y GIS (Gas Insulated Switchgear), así como la detección oportuna de anomalías en el SF₆ y de esta forma realizar acciones preventivas (SENER [2017](#)).

Estudio, demostración e implementación de protocolos, hardware y aplicaciones para la integración de los Centros de Control

Dado a que la subestación eléctrica es la principal fuente de información y el nodo crítico para la operación, se pretende con la modernización de la automatización de subestaciones homologar e integrar las funciones de protección, control, medición, comunicación y seguridad de datos SCADA de la subestación mediante protocolos de comunicación estándar que permitan su interoperabilidad, garantizando de manera confiable la operación,



mantenimiento y suministro de energía eléctrica. Se visualiza para la parte de medición, alarmas y gestión de activos por medio del protocolo MMS y estándar internacional IEC61850 (SENER [2017](#)).

Investigación sobre el uso de la información de la condición de activos para mejorar la confiabilidad operativa del sistema

El presente proyecto, consiste en contar con una herramienta para el monitoreo de los dispositivos críticos de las subestaciones de potencia, con un alcance para las Líneas de Transmisión, Transformadores, Interruptores y Bancos de Baterías, para lograr la instrumentación de los Activos Críticos y la aplicación de una herramienta que diagnostique el estado del Activo, así como tener información en línea (tiempo real), e información histórica para la gestión del algoritmo (SENER [2017](#)).

Sistema de Información Geográfica de la RNT

Se pretende implementar una estructura basada en ESRI con la utilización de la plataforma de ArcGIS, conectada a los sistemas SCADA y MySAP, con ello nos permitirá integrar funciones avanzadas en diferentes capas temáticas para la operación, mantenimiento y expansión de la Red, ya que tener una plataforma de esta naturaleza, ayuda a la localización de fallas, a conocer la infraestructura que puede ser afectada debido a fenómenos naturales, cálculo de rutas óptimas para una intervención inmediata, fuerza de trabajo móvil, planeación del mantenimiento, derechos de vía y generar modelos a partir de eventos anteriores con la finalidad de evitar posibles fallas (SENER [2017](#)).

Gestión del balance de energía de las RGD para el MEM

Las condiciones establecidas por la Ley de la Industria Eléctrica en su artículo 37 y la Base 16 del Mercado Eléctrico Mayorista, requieren obtener el balance de energía en los puntos de intercambio de esta de las denominadas Zonas de Carga. Por tanto, se requiere de la instalación de equipo de medición y comunicaciones en las Redes Generales de Distribución, para obtener el grado de confiabilidad necesario para que todos los Participantes del Mercado Eléctrico Mayorista reciban o paguen las liquidaciones por energía correspondientes (SENER [2017](#)).

Sistema de Administración de Distribución Avanzado

Este proyecto piloto tiene el propósito de evaluar las capacidades de un Sistema Avanzado de Administración de Distribución (ADMS, por sus siglas en inglés), con el cual se incluye



también un sistema incrustado para la administración de interrupciones (OMS, por sus siglas en inglés), a través de un proyecto de demostración. Con el fin de evaluar correctamente las capacidades del ADMS. El proyecto incluye el despliegue del ADMS para automatizar las subestaciones del proyecto piloto para probar las funcionalidades avanzadas de este sistema.

Actividades desplegadas en 2018-2019:

Arquitectura empresarial para la Red Eléctrica Inteligente

Estudio / Desarrollar diagramas de arquitectura mediante estándares internacionales (2018).

Implementación / Desarrollar casos prácticos y diagramas de la arquitectura Implementar la arquitectura organizacional, los nuevos proyectos cumplirán con ella (2019).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,564.00.

Estrategia Empresarial de telecomunicaciones

Estudio / Desarrollar portafolio de tecnologías en telecomunicaciones - Visualizar requerimientos de aplicaciones y distribución geográfica de tecnologías - Crear el mapa de ruta empresarial para la implementación de las tecnologías y realizar un análisis beneficio/costo (2018).

Demostración / Llevar a cabo demostraciones de las nuevas tecnologías (2018-2019).

Implementación / Implementar tecnologías en sistema, (las que presenten mejores resultados) (2019-2020).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$25,643.00.

Estrategia de ciberseguridad

Estudio / Determinar estados futuros deseados para la ciberseguridad - Desarrollar plan de acción para lograr estados deseados (2018).

Implementación / Definir una estrategia de evaluación periódica - Implementar la estrategia de ciberseguridad (2018-2019).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$57,696.00.

Cronograma de actividades para los proyectos considerados por el CENACE.

Despacho óptimo de potencia reactiva



Estudio / Identificar y evaluar las herramientas disponibles para el despacho óptimo de potencia reactiva (2018).

Demostración / Evaluar detalladamente y demostrar el funcionamiento de la herramienta de software seleccionada fuera de línea (2019).

Implementación / Implementar y verificar la herramienta de software en la operación en tiempo real del SEN (2020).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,136.92.

Investigación sobre el uso de nuevas tecnologías para asistir el proceso de arranque negro

Estudio / Evaluar las necesidades de restablecimiento del sistema para las condiciones futuras esperadas del SEN - Evaluar las estrategias de restablecimiento del sistema teniendo en cuenta diversas opciones tecnológicas - Valorar el costo y los beneficios de las opciones tecnológicas seleccionadas (2018).

Demostración / Solicitar propuestas de tecnologías para asistir el proceso de arranque negro y proyectos de demostración (2019-2022).

Implementación / Elaborar los planes actualizados de restablecimiento del SEN (2022).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$5,876.53.

Demostración e implementación de herramientas inteligentes que guíen el proceso de restablecimiento

Demostración / Evaluar detalladamente y demostrar el funcionamiento del software seleccionado (2018).

Implementación / Implementar y capacitar al personal en el uso de la herramienta de software (2019).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,136.92.

Demostración del almacenamiento de energía y su integración en la operación

Estudio / Evaluar el almacenamiento para diversos casos prácticos y niveles de penetración de fuentes de energía renovables - Identificar las tecnologías requeridas y seleccionar la ubicación adecuada - Solicitar propuestas de almacenamiento de energía y analizar el valor de c/u. (2018).

Demostración / Demostrar el uso del almacenamiento de energía mediante proyectos (2019-2021).



Implementación / Integrar el almacenamiento de energía a la operación del sistema y evaluar su valor (2022-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$5,342.30.

Pronóstico de generación eólica y solar para la operación

Demostración / Demostrar las tecnologías identificadas para el pronóstico y la operación (2018-2019).

Implementación / Implementar la tecnología probada con éxito en un área más amplia (2020-2022).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$8,547.68.

Red de medición fasorial de nueva generación

Estudio / Desarrollar la arquitectura de la RNMF - Determinar las especificaciones técnicas para las componentes de la RNMF - Elaborar un análisis detallado de beneficio/costo de la RNMF - Desarrollar un plan de implementación para la RNMF (2018).

Implementación / Implementar la RNMF en el Sistema Eléctrico Nacional (2019-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$5,342.30.

Herramienta para la evaluación en tiempo real de la seguridad operativa

Estudio / Desarrollar especificaciones funcionales y casos prácticos de seguridad operativa - Evaluar las herramientas existentes y definir un plan de demostración (2018-2020).

Demostración e Implementación / Demostrar e implementar la herramienta de seguridad operativa en la operación en tiempo real del SEN (2021-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$16,026.90.

Incorporación de métodos basados en riesgo y flexibilidad en el proceso de planeación

Estudio / Determinar las aplicaciones que requieren de una planeación basada en riesgo y flexibilidad en el SEN - Adquirir las herramientas para la demostración de los métodos de planeación basados en riesgo y flexibilidad (2018).

Demostración / Desarrollar un conjunto de datos y casos de estudio para probar las herramientas - Modelar y llevar a cabo estudios de análisis con las herramientas - Evaluar las herramientas de planeación seleccionadas - Desarrollar un plan de ruta para la integración formal de las herramientas en el proceso de planeación (2018-2020).

Implementación / Formar y capacitar al personal en el uso de estas herramientas de planeación - Ajustar el proceso de planeación del SEN a estas nuevas herramientas y



métodos - Implementar las herramientas en todos los procesos sustantivos de planeación que son requeridas (2021-2023).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$25,643.03.

Respuesta de la demanda para asistir la operación de la red

Estudio / Identificar las tecnologías requeridas y seleccionar las ubicaciones adecuadas para la demostración futura - Solicitar propuestas de respuesta de la demanda y analizar el valor de cada una de ellas (2018).

Demostración / Demostrar el uso de la respuesta de la demanda mediante proyectos (2019-2021).

Implementación / Integrar la respuesta de la demanda en la operación del sistema y evaluar su valor (2022).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$4,273.84.

Investigación sobre el uso de límites dinámicos en líneas de transmisión

Demostración / Solicitar propuestas de tecnologías de DLR y analizar el valor de c/U. - Llevar a cabo la instalación de los dispositivos de DLR en los sitios seleccionados - Medir y experimentar con las tecnologías de DLR - Evaluar los costos y beneficios de las opciones tecnológicas de DLR (2018-2021).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$9,936.68.

Cronograma de actividades para los proyectos considerados por el Transportista.

Estudio e implementación de herramientas inteligentes que guíen el proceso operación física de la RNT

Demostración / Evaluación detallada y demostración de software seleccionado. Evaluación del software seleccionado, con el fin de realizar las acciones que se requieran para identificar y comprobar su funcionabilidad y compatibilidad con los sistemas existentes para que cuando se integre a los nuevos centros se garantice su correcta operación (2018).

Implementación / Selección del área más representativa para evaluar el proyecto. En esta fase se seleccionan de los 31 Centros de Control existentes, aquel en que se implementará la nueva propuesta con el fin de que esta se pueda evaluar y así contar con la información necesaria para la toma de decisiones para el desarrollo de la etapa de implementación. - Solicitar propuestas y analizar el valor de cada una. En esta fase se pondrá en práctica la



propuesta en el lugar específico que se haya determinado como resultado de la fase 5 (2019-2023).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$812,564.04.

Localizador automático de fallas

Implementación / Definición de la arquitectura. Aplicación de desarrollos para la localización de fallas, que además permitan la prevención ante fallas incipientes en las líneas de transmisión, incorporando los equipos y herramientas que mejor se adapten a las necesidades y requerimientos específicos de la Red Nacional de Transmisión (2018).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$7,479.22.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico de interruptores de potencia y subestaciones encapsuladas (GIS) en gas hexafluoruro de azufre (SF6)

Demostración / Evaluación detallada y demostración del sistema Se realizará un análisis de la información disponible a nivel mundial para establecer la situación tecnológica sobre el desarrollo de sensores de SF6 y su relación con el diagnóstico del estado operativo que guardan los interruptores y subestaciones GIS (2018).

Definición de arquitectura / Definición de arquitectura. Desarrollo de una metodología para determinar la condición de interruptores de potencia, incluyendo el software compatible con el sistema de administración de mantenimiento de CFE, incorporando a los interruptores sensores de SF6 basados en nanotecnología, que permitan realizar un diagnóstico del estado operativo que guardan los interruptores y subestaciones GIS (2018).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$13,355.75.

Estudio, demostración e implementación de protocolos, hardware y aplicaciones para la integración de los Centros de Control

Demostración / Evaluación detallada y demostración de software para el protocolo de comunicación de subestaciones de transmisión. Evaluación del software con el protocolo de comunicación IEC61850 para probar la arquitectura seleccionada en la fase 3 (2018).

Implementación / Desarrollar un plan de implementación para la RNT en el nivel de tensión de 400 kV. En esta fase se establecerá el plan de acción para la implementación del Sistema Automático de Subestaciones, el cual definirá el tiempo que tardará en desarrollarse (2019-2023).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$641,823.92.



Investigación sobre el uso de la información de la condición de activos para mejorar la confiabilidad operativa del sistema

Demostración / Demostración con pilotos de la arquitectura. Se realizarán una prueba piloto en un área para obtener resultados que permitan una adecuada toma de decisiones durante la implementación del proyecto, demostrando el alcance de la propuesta en la gestión de los activos críticos de una subestación de potencia de la CFE Transmisión (2018).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$3,996.04.

Sistema de Información Geográfica de la RNT

Demostración / Demostración de la herramienta. Se realizará prueba piloto en un área para obtener resultados en la toma de decisiones en la implementación del proyecto, demostrando la capacidad de la herramienta y la integración al Centro de Monitoreo y Adquisición de Datos, con los proyectos asociados (2018).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,051.44.

Cronograma de actividades para los proyectos considerados por el Distribuidor.

Operación remota y automatismo en redes de distribución

Implementación / Análisis y reconfiguración de la red de media tensión - Análisis para determinar cuáles circuitos de media tensión se deben tele controlar - Determinar las necesidades de equipo de protección y seccionamiento a instalar - Elaborar el plan de crecimiento y ubicación del equipo de protección y seccionamiento - Programa de acciones a seguir para la instalación de EPROSEC (2017-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,889,422.00.

Sistema de información geográfica de las RGD

Implementación / Adquisición, instalación y puesta en operación - Actualización de sistemas de adquisición de datos - Transferencia de tecnología - Piloto de implementación - Implementación a nivel Nacional (2017-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$501,600.00.

Infraestructura de medición avanzada

Estudio / Identificar las zonas geográficas donde existe un alto nivel de pérdidas no técnicas de energía eléctrica y altos costos operativos (2017-2021).

Demostración / Demostrar que se redujeron las pérdidas no técnicas de energía y se fomenta el uso eficiente de la energía - Demostrar que la solución operativa es la



automatización de lecturas, cortes y reconexiones. Estas funciones se pueden realizar a petición de los operadores en tiempo real y obtener las mediciones instantáneas (2018-2021).

Implementación / En esta fase del proyecto se deben afinar todos los elementos del sistema de tal manera que se asegure el correcto funcionamiento operativo en apego a los requisitos definidos en ingenierías básicas - Comprende un periodo de un año con la observación de resultados parciales de manera mensual (2018-2024).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$6,097,021.76.

Gestión del balance de energía de las RGD para el MEM

Demostración / Que ocupan elementos de medición, monitoreo y operación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) que utilizan tecnologías de la información (TIC's) bajo un marco que promueva e impulse la interoperabilidad - Que se haga un correcto balance de flujos de energía. – Al obtener las mediciones eléctricas de diferentes puntos en la Red General de Distribución en tiempo real, es posible que realice estudios de flujos de energía. (2018).

Implementación / En esta fase del proyecto se deben afinar todos los elementos del sistema de tal manera que se asegure el correcto funcionamiento operativo en apego a los requisitos de la normatividad (2018).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$2,998.72.

Sistema de Administración de Distribución Avanzado

Estudio / Requerimientos documentales y adquisición de un ADMS Piloto - Seleccionar la región óptima para el desarrollo del AMDS (2017).

Demostración / Desarrollo del ADMS en etapas - Registro y verificación - Caso de negocio para el desarrollo de un ADMS completo (2018-2021).

Recursos estimados para los proyectos de REI (miles de pesos): \$503,000.00.

PRODESEN 2019-2033, tecnología 5G en la visión del actual gobierno.

El actual gobierno detectó afectaciones al patrimonio de las empresas productivas del estado derivado de la reforma energética en pro de las empresas privadas entrantes en el mercado nacional de energía eléctrica. Se detectaron sociedades con un mínimo de capital (1 dólar), quienes (generadores y socios) utilizan la infraestructura de transmisión y distribución de la CFE. Al vencimiento de los contratos, estas centrales podrán instalarse en



el mercado, después de haber sido subsidiadas prácticamente por la CFE. Un ejemplo de empresa auto abastecedora sin consumo propio, con capacidad superior a 200 (MW), tiene más de 7,000 socios, de los cuales 80% son oficinas y comercios de grandes corporativos. CFE dejó de construir centrales propias. Además, ante cualquier evento de caso fortuito o fuerza mayor que impida a una de estas plantas PEE generar electricidad, se puede excusar del cumplimiento, pero continúa cobrando los cargos fijos. Asimismo, CFE asume todos los riesgos y costos asociados (Energía [2019](#)).

El esquema tarifario de la CRE no reconoce el total de los costos de cada uno de los procesos de la CFE, ni las utilidades a las que por ley tiene derecho. Los costos reales de generación de las centrales de CFE con contratos legados en 2018, fueron de 358,872 millones de pesos. El costo reconocido por la CRE como costo total de generación, fue de 313,300 millones de pesos. La reorganización llevada a cabo por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en Generación, con la creación de seis Empresas Productivas Subsidiarias (EPS) y una Empresa Filial (EF), incrementaron costos y redujeron la eficiencia de gestión tanto operativa como administrativa de la CFE, ya que la organización y distribución de activos fue inadecuada, lo que afectó la viabilidad e las empresas subsidiarias y afectó gravemente las finanzas de la Empresa Productiva (Energía [2019](#)).

Anotaciones

La planes y programas que plasman la política del actual gobierno en torno al desarrollo de la cadena de valor de energía eléctrica se encuentran actualmente en revisión en la Secretaria de Hacienda y Crédito Público para su aprobación a finales de diciembre de 2019.



Referencias Bibliográficas

- Armenta, Mauricio Hernández. 2019. “La falta de fibra es el mayor lastre para la 5G: AT&T México • Forbes México.” *Forbes México*, June 5, 2019. <https://www.forbes.com.mx/el-principal-cuello-de-botella-para-la-red-5g-no-es-el-espectro-es-la-fibra-monica-aspe/>.
- Bamber, Penny, Andrew Guinn, Gary Gereffi, Grace Muhimpundu, and Thupten Norbu. 2014. “Burundi in the Energy Global Value Chain: Skills of Private Sector Development.”
- Báez, Javier. 2019. “¿Cuándo llegará el Internet 5G a México?” *DineroenImagen*, October 27, 2019. <https://www.dineroenimagen.com/hacker/cuando-llegara-el-internet-5g-mexico/115503>.
- Binz, Ron, Riccardo Bracho, Art Anderson, Michael H. Coddington, Elaine T. Hale, Michael Ingram, Maurice Martin, et al. 2019. “A Report on the Implementation of Smart Grids in Mexico.” NREL/TP-7A40-72699, 1491446. <https://doi.org/10.2172/1491446>.
- Cao, Xuping, Aroskar Rajarshi, and Juxi Tong. 2018. “Technology Evolution of China’s Export of Renewable Energy Products.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (8). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081782>.
- CFE. 2017. “PRINCIPALES ELEMENTOS DEL PLAN DE NEGOCIOS 2018-2022.” Comisión Federal de Electricidad (CFE). <https://www.cfe.mx/inversionistas/Pages/default.aspx>.
- CFR. 2019. “What 5G Means for Energy.” Council on Foreign Relations. May 31, 2019. <https://www.cfr.org/blog/what-5g-means-energy>.
- Change, IPCC Climate. 2014. “Mitigation of Climate Change.” *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* 1454.
- Clark, Robert. 2019a. “Operators Starting to Face up to 5G Power Cost.” Light Reading. October 30, 2019. <https://www.lightreading.com/asia-pacific/operators-starting-to-face-up-to-5g-power-cost-/d/d-id/755255>.
- . 2019b. “China Mobile Exec Calls for 5G Power Subsidies.” Light Reading. November 14, 2019. <https://www.lightreading.com/asia-pacific/china-mobile-exec-calls-for-5g-power-subsidies/d/d-id/755631>.



Corona, Liliana. 2019. "En sus marcas, listos... ¡5G! Así se preparan los operadores." *Expansión*, April 11, 2019. <https://expansion.mx/empresas/2019/04/11/en-sus-marcas-listos-5g-asi-se-preparan-los-operadores>.

Demestichas, Konstantinos, Evgenia Adamopoulou, and Michał Choraś. 2017. "5G Communications: Energy Efficiency." Research article. *Mobile Information Systems*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5121302>.

Denholm, Paul, Matthew O'Connell, Gregory Brinkman, and Jennie Jorgenson. 2015. "Overgeneration from Solar Energy in California. A Field Guide to the Duck Chart." NREL/TP-6A20-65023, 1226167. <https://doi.org/10.2172/1226167>.

Downie, Edmund. 2018. "Sparks Fly over Ultra-High Voltage Power Lines," January 29, 2018. <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/10376-Sparks-fly-over-ultra-high-voltage-power-lines>.

Dussel Peters, Enrique. 2013. *América Latina y El Caribe - China: economía, comercio e inversiones*. México D.F.: Unión de Universidades de América Latina y el Caribe.

———. 2019a. *China's Foreign Direct Investment in Latin America and the Caribbean. Conditions and Challenges*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.

https://dusselpeters.com/CECHIMEX/20190804_CECHIMEX_Libro_Chinas_Foreign_Direct_Enrique_Dussel_Peters.pdf.

———. 2019b. "Monitor de la OFDI China en América Latina y el Caribe 2019." Red ALC-China. http://www.redalc-china.org/monitor/images/pdfs/menuprincipal/DusselPeters_MonitorOFDI_2019_Esp.pdf.

———. 2019c. "China's Financing in Mexico." In *China's Financing in Latin America and the Caribbean*. Impreso y hecho en México/Printed and made in Mexico. https://dusselpeters.com/CECHIMEX/20191001_CECHIMEX_REDALC_Chinas_financing_in_Latin_America_and_the_Caribbean_Enrique_Dussel_Peters.pdf.

eia. 2015. "China - International - Analysis - U.S. Energy Information Administration (EIA)." May 14, 2015. <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.php?iso=CHN>.

Energía, Secretaría de. 2017. "Se requerirán 11 mil 646 millones de pesos para desarrollar proyectos de Redes Eléctricas Inteligentes." *gob.mx*. August 22, 2017.



<http://www.gob.mx/sener/prensa/se-requeriran-11-mil-646-millones-de-pesos-para-desarrollar-proyectos-de-redes-electricas-inteligentes>.

———. 2019. “PRODESEN 2019 - 2033.”

<http://www.gob.mx/sener/documentos/prodesen-2019-2033>.

Energy, U.S. Department of. 2018. “2018 Smart Grid System Report.”

<https://www.energy.gov/oe/downloads/2018-smart-grid-system-report>.

———. 2019. “Department of Energy Announces \$80 Million for New Grid Modernization Lab Call Projects.” Energy.gov. June 11, 2019.

<https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-80-million-new-grid-modernization-lab-call-projects>.

Faheem, Muhammad, Syed Bilal Hussain Shah, Rizwan Aslam Butt, Basit Raza, Muhamad Anwar, M. Waqar Ashraf, Md. A. Ngadi, and Vehbi C. Gungor. 2018. “Smart Grid Communication and Information Technologies in the Perspective of Industry 4.0: Opportunities and Challenges.” *Computer Science Review* 30 (November): 1–30.

<https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2018.08.001>.

Frankfurt School, Finance & Management of, UNEP, and BloombergNEF. 2019. “Global Trends in Renewable Energy Investment 2019.” Frankfurt School of Finance & Management gGmbH 2019.

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Fumie, Yaku. 2019. “In-House Chips Power Huawei’s 5G Drive Beyond China.” *Nikkei Asian Review*, February 10, 2019. <https://asia.nikkei.com/Spotlight/5G-networks/In-house-chips-power-Huawei-s-5G-drive-beyond-China>.

García, Karol. 2019. “Juez Congela Cambios a Reglas En Energía Limpia.” *El Economista*, November 27, 2019. <https://www.economista.com.mx/empresas/Juez-congela-cambios-a-reglas-en-energia-limpia-20191127-0010.html>.

Giles, Martin, and Elizabeth Woyke. 2018. “The 6 Reasons Why Huawei Gives the US and Its Allies Security Nightmares.” MIT Technology Review. July 12, 2018. <https://www.technologyreview.com/s/612556/the-6-reasons-why-huawei-gives-the-us-and-its-allies-security-nightmares/>.



Giordani, Marco, Michele Polese, Marco Mezzavilla, Sundeep Rangan, and Michele Zorzi. 2019. "Towards 6G Networks: Use Cases and Technologies," March. <http://arxiv.org/abs/1903.12216>.

GMT, Posted 27 Jan 2017 | 19:00. 2017. "Everything You Need to Know About 5g - IEEE Spectrum." IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News. January 27, 2017. <https://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>.

Grid, State. 2019. "Welcome to State Grid Corporation of China." 2019. http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc_main_en/col2017112307/column_2017112307_1.shtml

Huawei. 2019a. "China's Super Grid: Huawei 5G Enables a World-Leading Power Grid." 2019. <https://carrier.huawei.com/en/success-stories/Industries-5G/Electric-power>.

———. 2019b. "Huawei Annual Report." <https://www.huawei.com/en/press-events/annual-report>.

IEA. 2018a. "World Energy Investment 2018." IEA Webstore. 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-investment-2018>.

———. 2018b. "World Energy Balances 2018." IEA Webstore. August 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018>.

———. 2019. "World Energy Outlook." International Energy Agency. https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook_20725302.

INEGI. 2018. "Primera Encuesta Nacional Sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI)."

IPCC. 2018. "Global Warming of 1.5 °C." The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/sr15/download/>.

Kawanami, Takeshi, and Alex Fang. 2019. "Trump Orders Targeted Export Ban Against Huawei." *Nikkei Asian Review*, May 16, 2019. <https://asia.nikkei.com/Economy/Trade-war/Trump-orders-targeted-export-ban-against-Huawei>.

Klein, Richard JT, G. F. Midgley, B. L. Preston, M. Alam, F. G. H. Berkhout, K. Dow, and M. R. Shaw. 2014. "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability." *Intergovernmental Panel on Climate Change. Part A: Global and Sectoral Aspects; Field,*



CB, Barros, VR, Dokken, DJ, Mach, KJ, Mastrandrea, MD, Bilir, TE, Chatterjee, M., Ebi, KL, Estrada, YO, Genova, RC, et Al., Eds.

Kroposki, Benjamin. 2017. "Integrating High Levels of Variable Renewable Energy into Electric Power Systems." *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy* 5 (6): 831–37.

Lempriere, Molly. 2019. "China's Mega Transmission Lines: Geopolitical Play or Environmental Sense?" *Power Technology | Energy News and Market Analysis*. March 6, 2019. <https://www.power-technology.com/features/chinas-mega-transmission-lines/>.

Ley de Transición Energética. 2015. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>.

Liss, Jesse. 2018. "Tratados de inversión entre China y América Latina y la salida de inversión extranjera directa de China en la región: un análisis interdisciplinario," 20.

López, Alejandra. 2005. "Dividirán a CFE Para Evitar Dominancia," December 3, 2005. <https://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=486645>.

Martin. 2018. "Greenhouse Gas Levels in Atmosphere Reach New Record." *United Nations Sustainable Development*. November 22, 2018. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2018/11/greenhouse-gas-levels-in-atmosphere-reach-new-record/>.

Martínez, Carla. 2019. "Precios altos impactan desarrollo de tecnología 5G." *El Universal*, October 23, 2019. <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/precios-altos-impactan-desarrollo-de-tecnologia-5g>.

Martínez, Fabiola, and Nestor Jiménez. 2019. "La Jornada: El Ejecutivo celebra inversión de Singapur en México por 871 mdd." *11/20/2019*, November 20, 2019. <https://www.jornada.com.mx/2019/11/20/politica/006n2pol>.

México, Gobierno de. 2019. "T-MEC." 2019. <https://www.gob.mx/t-mec>.

MIT, Technology Review. 2017. "Redes eléctricas inteligentes: un cerebro detrás del interruptor." *MIT Technology Review*. July 13, 2017. <https://www.technologyreview.es/s/8356/redes-electricas-inteligentes-un-cerebro-detras-del-interruptor>.

Nagasawa, T., C. Pillay, G. Beier, K. Fritzsche, F. Pougel, T. Takama, and I. Bobashev. 2017. "Accelerating Clean Energy Through Industry 4.0: Manufacturing the Next



Revolution.” *A Report of the United Nations Industrial Development Organization*.
[https://www.unido.org/sites/default/files/2017-](https://www.unido.org/sites/default/files/2017-08/REPORT_Accelerating_clean_energy_through_Industry_4.0.Final_0.pdf)

[08/REPORT_Accelerating_clean_energy_through_Industry_4.0.Final_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2017-08/REPORT_Accelerating_clean_energy_through_Industry_4.0.Final_0.pdf).

NREL. 2018. “Ten Years of Analyzing the Duck Chart: How an NREL Discovery in 2008 Is Helping Enable More Solar on the Grid Today | News | NREL.” February 26, 2018.
<https://www.nrel.gov/news/program/2018/10-years-duck-curve.html>.

ONU. 2015. “Acuerdo de París.” Naciones Unidas.
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf.

open4innovation. 2019. “Artificial Intelligence and 5G Technologies in Future Integrated Energy Systems.” April 29, 2019.
<https://nachhaltigwirtschaften.at/en/events/2019/20190429-ws-mia-artificial-intelligence-5g.php>.

Piña, Carlos Eduardo. 2019. “Chinese Financing in Venezuela (2000-2018). Joint Funds and Loans for Oil.” In *China’s Financing in Latin America and the Caribbean*. Impreso y hecho en México/Printed and made in Mexico.
https://dusselpeters.com/CECHIMEX/20191001_CECHIMEX_REDALC_Chinas_financing_in_Latin_America_and_the_Caribbean_Enrique_Dussel_Peters.pdf.

República, Gobierno de la. 2013. “Explicación Ampliada de La Reforma Energética.”
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf.

Reuters. 2019a. “China Launches Its Longest Extra-High Voltage Power Line -Xinhua.” *Reuters*, July 3, 2019. <https://www.reuters.com/article/china-power-transmission-idUSL4N244136>.

———. 2019b. “Gobierno de Venezuela ofrece pago en yuanes a proveedores de servicios.” *La Jornada*, November 29, 2019.
<https://www.jornada.com.mx/2019/11/29/mundo/028n1mun>.

Rodríguez, Leonardo Beltrán, Efraín Villanueva Arcos, Luis Alfonso Muñozcano Álvarez, Jessica Susana Rodríguez Aguilar, Michelle Alejandra Ramírez Bueno, Ana Cecilia Portepetit Anduaga, Antonio Emmanuel Ramírez Salas, et al. 2018. “Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre 2018.” Secretaría de Energía.



SENER. 2017. “Programa de Redes Eléctricas Inteligentes.” https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250609/2017_Programa_de_Redels_Elctricas_Inteligentes.pdf.

Sherisse, Pham. 2019. “China Just Launched the World’s Largest 5G Network.” *CNN*, January 11, 2019. <https://www.cnn.com/2019/11/01/tech/5g-china/index.html>.

Shi, Wei. 2019. “China Switches on 5G.” *Telecoms.com*, November 1, 2019. <https://telecoms.com/500700/china-switches-on-5g/>.

Sofana, Reka S., Tomislav Dragičević, Pierluigi Siano, and S. R. Sahaya Prabaharan. 2019. “Future Generation 5G Wireless Networks for Smart Grid: A Comprehensive Review.” *Energies* 12 (11): 2140. <https://doi.org/10.3390/en12112140>.

Spirent. 2019. “Analysys Mason White Paper: Automated Assurance Is Key to the Automation of 5G and SD-WAN Operations - Spirent.” https://www.spirent.com/assets/wp/wp_analysys-mason-automated-assurance-is-key-to-the-automation-of-5g-and-sd-wan-operations.

State Grid, Corporation of China. 2019. “State Grid Issues White Paper Titled Internet of Things in Electricity 2019.” October 25, 2019. http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc_main_en/col2017112406/2019-10/31/20191031164726309404014_1.shtml.

Twite, Andrew. 2018. “Forget the Duck Curve. Renewables Integration in the Midwest Is a Whole Other Animal.” June 21, 2018. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/renewables-integration-in-the-midwest-is-a-whole-other-animal>.

UNFCCC&CDIAC. 2017. “Fossil Fuels and Cement Production Emissions by Country (Territorial, GCB).” June 2017. <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/18/data.htm>.

Wagman, David. 2019. “China Taps 5G and AI to Build a Grid-Wide Electric IoT | Engineering360.” *Engineering 360*. August 11, 2019. <https://insights.globalspec.com/article/12965/china-taps-5g-and-ai-to-build-a-grid-wide-electric-iot>.

West, Darrell M. 2016. “Achieving Sustainability in a 5G World,” December, 16.



WMO. 2018. “The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere. Based on Global Observations Through 2017.” https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5455.

Workman, Daniel. 2019. “Top 15 Crude Oil Suppliers to China.” World’s Top Exports. August 21, 2019. <http://www.worldstopexports.com/top-15-crude-oil-suppliers-to-china/>.

Zhou, Peter. 2019. “Simplified 5G for Better 5G Business,” April, 6.



Anexo 12. Investigaciones resultantes de los investigadores adscritos al Cechimex