



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

Impacto de la nueva reforma electrica: analisis de costo-beneficio en un sistema basado en redes inteligentes

Oswaldo Rodríguez Villalón¹
*María Mercedes León Sánchez**

Resumen

En este trabajo, se propone un estudio basado en el costo-beneficio de instalar dispositivos relacionados con la red eléctrica inteligente (principalmente aquellos que conforman el sistema avanzado de medición), aunado a un análisis detallado de la reforma eléctrica resaltando las principales ventajas y desventajas que representa dicha propuesta. Esta reforma en materia de electricidad aparentemente representaba un retroceso en materia energética que implicaba el regresar a la producción de energía eléctrica con base en la quema de combustibles fósiles dejando de lado la producción, generación, transmisión y uso de energía eléctrica basada en fuentes renovables. Un cambio de paradigma hacia una operación de mercado eléctrico del sistema eléctrico nacional se analiza a través del enfoque de las 5 fortalezas de Porter, aportando conceptos económicos asociados a la instalación de los dispositivos de dicha red inteligente.

Palabras clave: redes inteligentes, reforma eléctrica, dispositivos de medición avanzada, 5 fortalezas de Porter, análisis de costo-beneficio

Abstract: In this research, concepts related with smart electric grid system scheme is analyzed considering cost benefit analysis from economic point of view through advanced metering infrastructure devices installation; in addition, the electrical reform analysis is carried out focusing on advantages and disadvantages which are observed from this proposal. This Electrical Reform apparently has represented a regression on energy production basing electrical generation and transmission on fossil fuels instead of energy from renewables. A paradigm roll change into an electric energy market of national electric system is analyzed by applying the Porter's 5 forces noticing some economical aspects which involve a smart grid.

Keywords: smart grids, electrical reform, advanced meter infrastructure devices, Porter's 5 forces, cost benefit analysis

¹ *Universidad de Guanajuato

Introducción

Los recursos energéticos del mundo cada vez son más escasos, y eso ha llevado a que los países opten por alternativas de eficiencia y de un uso inteligente de estos, principalmente en lo que respecta a la energía eléctrica. Dada la importancia de la electricidad en el crecimiento y desarrollo de las economías mundiales, esta se vuelve un recurso vital y que cada vez es más abordado desde diferentes puntos de vista, principalmente en aspectos técnicos, económicos y legales.

En lo que respecta a la política mexicana, en el año 2013 durante el sexenio del gobierno federal 2012-2018, se propuso una reforma energética que entre otras cosas, incentivó el ingreso del mercado extranjero a través de contratos de la generación de electricidad mediante energías limpias; esta alternativa fue discutible, y aparentemente ventajosa, sobre todo para las compañías mexicanas, principalmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ya que comenzaba a disolverse como la principal compañía a cargo del manejo de los recursos de electricidad del país (Gobierno de México, 2013).

Sin embargo, en la transición gubernamental que representó la llegada de un nuevo gobierno federal para el periodo 2018-2024, las políticas en materia de energías cambió radicalmente, lanzándose una nueva reforma en materia de electricidad y de otros recursos energéticos como el litio, durante el año 2021, eliminando muchas de las políticas impuestas previamente en la reforma energética del 2013, regresando poder de generación y de recursos económicos a la CFE, y aparentemente dejando de lado los incentivos en la generación mediante energías alternativas. Esta reforma del 2021 ha sido fuertemente discutida, y hasta el momento no aceptada como iniciativa de Ley por parte del poder legislativo.

Dado lo anterior, y debido a los cambios mundiales en los mercados de electricidad, se abre la oportunidad re-plantear algunas de las políticas energéticas de nuestro país, proponiendo una estructura para cierto sector de la población y del propio sector eléctrico hacia una operación en esquema de red inteligente (Cecati *et al.* 2010). Esta estructura abre la posibilidad de que las redes eléctricas sean restructuradas a través de dispositivos inteligentes de control de la energía, aprovechamiento de la misma, generación mediante energías limpias, instalación de dispositivos de medición avanzada, comunicación directa entre usuarios y los operadores de las redes de distribución eléctrica, apertura de mercados energéticos.

En este trabajo, se propone un análisis de costo-beneficio de la instalación de dispositivos de medición avanzada en una red inteligente, tendencia que puede aplicarse al caso mexicano. Para ello, se exploran y se describen las diferencias entre las reformas en materia de electricidad del 2013 y del 2021, estableciendo una comparativa de las mismas. Como parte de la propuesta del análisis de costo-

beneficio, se hace uso de las 5 fuerzas de Porter para describir las fortalezas y debilidades de la instalación de una red inteligente en un mercado eléctrico.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se abordan las reformas energéticas del 2013 y del 2021, describiendo las características de cada una de ellas y estableciendo una tabla comparativa de las ventajas y desventajas de ambas reformas; en la sección 3, se hace una breve descripción en materia de inversión económica en energías en México, tanto nacionales como extranjeras; en la sección 4 se describe el estudio de costo-beneficio de la implementación de redes inteligentes y dispositivos de medición avanzada, a través del modelo de costo beneficio y de las 5 fortalezas de Porter, cerrando con la sección de conclusiones y trabajos futuros.

Reforma eléctrica. Introducción

La reforma energética 2013 busca la mejora para producir electricidad en nuestro país reforzando las empresas sin privatizarlas como lo es Pemex y Comisión Federal de Electricidad para que puedan seguir siendo mexicanas por completo, además de ayudar al país para que no sea dañado económica o ambientalmente; mediante la atracción de inversión extranjera para impulsar el desarrollo del país. (Martínez, *et al.*, 2016).

En diciembre de 2013, el Congreso aprobó una enmienda constitucional que estaba diseñada a reestructurar en gran medida el sector energético. La situación legal de la CFE se modificó con el objetivo de trasladar el sector de una sola compañía de servicios públicos integrada verticalmente para que incluyera un subsector de generación que expandiría las oportunidades para las compañías privadas, donde las inversiones en transmisión también debían abrirse a la inversión internacional en virtud de contratos del sector privado con la CFE, pero la responsabilidad de las actividades de distribución permaneció en manos de la CFE (Wayne, 2018)

Quizás el cambio más importante involucró la apertura del mercado para la oferta competitiva. Esto dio lugar a la creación de mercados de energía y capacidad. Bajo las nuevas reglas, la oferta al sector residencial sigue bajo regulación. Si bien las compañías privadas pueden solicitar un permiso de suministro básico, muchos creen que es probable que la CFE siga siendo el proveedor básico principal.

Estos cambios significaron que la nueva estructura del mercado se caracterizara por la separación del sector en actividades de generación, transmisión y distribución; así como la introducción de procesos de subasta basados en el mercado para establecer precios para diversas actividades. Los nuevos participantes del mercado incluyeron usuarios y proveedores calificados, mientras que ciertas actividades, como la prestación de servicios básicos, se mantienen sobre una base de tasa de retorno regulada (Merchand, 2015).

En contraste, la reforma energética del 2021, buscaba otorgar un mayor reconocimiento y lugar a la inversión nacional a través del fortalecimiento de la empresa estatal, Comisión de Federal de Electricidad (CFE). La inversión extranjera directa dirigida al sector energético durante este año fue considerablemente menor a la del año 2018, registrando un decrecimiento de aproximadamente diez veces menos (El economista, 2022) Véase Figura 1. Los países que tuvieron mayor participación en este tipo de inversión fueron Estados Unidos y España (Guzmán, 2020).

Entonces, esta última iniciativa, que reforma los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia energética favorece a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ya que limita la participación de inversión privada, las modificaciones clave que buscan reconstituir el monopolio de la CFE.

La Reforma Energética pretendía modernizar el sector energético sin privatizar las empresas públicas dedicadas a la producción y al aprovechamiento de los hidrocarburos y de la electricidad (Gobierno de México, 2013; Tapia, *et al.*, 2020).

De acuerdo con gobierno de México, los objetivos traducidos en beneficios concretos para los mexicanos:

1. Bajar las tarifas eléctricas y bajar el precio del gas natural
2. Lograr tasas de restitución de reservas probadas de petróleo y gas natural superiores a 100%
3. Aumentar la producción de petróleo de 2.5 millones de barriles diarios que se producen actualmente, a 3 millones de barriles en 2018, y a 3.5 millones en 2025, asimismo aumentar la producción de gas natural de los 5 mil 700 millones de pies cúbicos diarios producidos actualmente a 8 mil millones en 2018 y a 10 mil 400 millones en 2025
4. Generar cerca de un punto porcentual más de crecimiento económico en 2018 y aproximadamente 2 puntos porcentuales más para 2025
5. Crear cerca de medio millón de empleos adicionales en este sexenio, llegando a 2 millones y medio de empleos en 2025
6. Sustituir las centrales eléctricas más contaminantes con tecnologías limpias y fomentar la utilización de gas natural en la generación eléctrica. (Gobierno de México, 2021)

En el Artículo 27 Constitucional, se reafirma la propiedad inalienable e imprescriptible de la Nación sobre los hidrocarburos en el subsuelo y la prohibición expresa de otorgar concesiones para exploración y extracción (De la Vega, 2002; Tapia, *et al.*, 2020)). Se establece la posibilidad de que la Nación otorgue asignaciones o contratos a Pemex e incorpora también la posibilidad de otorgar contratos a empresas privadas. Esto permitirá poner en producción yacimientos de hidrocarburos que en la actualidad se encuentran ociosos por falta de inversión, de capacidad de ejecución y de

tecnología. Se establece que la propiedad de la Nación sobre los hidrocarburos en el subsuelo deberá afirmarse en las asignaciones o contratos.

Por su parte, el Artículo 28 Constitucional se establece que la exploración y extracción de petróleo y gas son actividades estratégicas y esta reforma constitucional establece que la ley regulará las modalidades de contraprestación por las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas natural, incluyendo contratos de utilidad o de producción compartida, de licencia o de servicios. El Estado definirá el tipo de contrato que más convenga al país y escogerá la modalidad de contraprestación para lograr el mayor beneficio para el desarrollo de largo plazo del país. (DOF, 2021) En síntesis, la reforma propuesta del 2021 buscaba redefinir la política industrial del país, buscando centrarla en la exploración de hidrocarburos (De la Vega, 2002, Dussel, 2015; Martínez, 2016)

Tabla 1. Cuadro Comparativo Reforma Energética 2013 – Reforma Energética 2021

	REFORMA ENERGÉTICA 2013	REFORMA ENERGÉTICA 2021
<i>VENTAJAS</i>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Inversión privada en el sector energético ❖ Mayor apertura en el sector ❖ Empleos adicionales ❖ Sustituir centrales eléctricas más contaminantes con tecnologías limpias ❖ Desarrollo económico y social ❖ Sector más transparente ❖ Proteger el medio ambiente, la industria energética y la soberanía de México ❖ Industria energética más competitiva y eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Rescatar y fortalecer a la CFE para que vuelva a fungir como palanca del desarrollo nacional ❖ Promueve condiciones equitativas de competencia ❖ Garantiza la producción de energía limpia mediante el esquema de Certificados de Energías Limpias, la SENER determina el porcentaje de energía limpia que debe generarse cada año ❖ No habrá incrementos de impuestos en términos reales ni aumentos a los precios ❖ Modificación en los Criterios de despacho que reflejen costos reales de generación, eviten la simulación y especulación ❖ Eliminación de subsidios y políticas de dumping que favorecen unos competidores sobre otros ❖ Trato equitativo para emisión de CEL's entre CFE y particulares
<i>DESVENTAJAS</i>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Condiciones asimétricas de competencia ❖ Subieron precios de la electricidad ❖ Bajo crecimiento económico ❖ No creció significativamente la actividad económica ni la generación de empleos ❖ Aumentó la transferencia de riqueza al extranjero ❖ Criterios de despacho, basados en costos marginales, que ocultan el costo real de generación y que privilegia el despacho de generadores privados a costa de centrales eficientes de la CFE ❖ CFE debía subsidiar a otros. Hubo competencia desleal y dumping comercial a la CFE ❖ Imposibilidad para la CFE de emitir CELs y obligación de adquirirlos a privados 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ La oposición, analistas y la COFECE opinan que la reforma limita la competencia y desincentiva la generación de las energías limpias ❖ Se dará más espacio a la generación de electricidad con combustibles fósiles ❖ Se pueden revisar y revocar permisos de autoabastecimiento de energía, que algunos sectores industriales usan para hacer su operación más sustentable

	❖ Contratos de producción independiente desventajosos para la CFE	
--	---	--

Fuente: elaboración propia

Inversión nacional y extranjera en materia de generación de energía eléctrica

El desarrollo de cualquier economía nacional en tiempos modernos requiere de una visión global, la cual le permita contar con la flexibilidad suficiente para adaptar sus necesidades y maximizar sus capacidades, con el objetivo de ser económicamente más eficiente. Este elemento trasciende más allá de una determinada industria o sector, y desde tiempo atrás, ha formado parte de la idea de desarrollo económico integral e inversión a largo plazo que conforma a las naciones globalizadas. El concepto que enmarca esta idea es la Inversión Extranjera Directa (IED). Este tipo de inversión centran sus objetivos en la creación de más y mejores empleos, la transferencia de tecnología y la incorporación de compañías nacionales en los procesos de producción y dinámicas comerciales extranjeras, de manera que los productos locales logren mayor competitividad, calidad y proyección comercial. (Guzmán Díaz, 2020)

La nueva reforma energética dará su lugar a la CFE, porque en esta iniciativa la CFE va a tener el 54% del mercado y el 46% se va a conservar para las empresas particulares. La iniciativa incluye la desaparición de contratos de abastecimiento por no estar relacionados con la producción de energía eléctrica, así como las sociedades de autoconsumo que beneficiaban a las grandes cadenas comerciales.

La generación de energía eléctrica con fuentes limpias asciende a 37.52%, lo que equivale a 98 mil 635 GWh que inyectó a la red de enero a septiembre de 2021. Los privados, únicamente 20.3%. y para la presente administración, aprovechar de manera eficiente todas las fuentes de energía con que cuenta nuestro país es prioridad. (CFE, 2021)

Por otra parte, la política planteada por la actual administración ha emprendido un movimiento para forzar la salida de la inversión privada en el sector energético, en donde la tendencia de desarrollo de la industria renovable mexicana ha visto con recelo las modificaciones en materia regulatoria y presupuestaria que el gobierno federal ha realizado en los últimos años, en su objetivo por devolverle su papel preponderante a la CFE y PEMEX. Dicha situación, ha dejado detrás logros alcanzados en materia de IED que gracias a la Reforma Energética y mecanismos como la SLP hicieron posible en materia de electricidad. La tercera y última subasta significó una inversión por \$2,400 millones de dólares, que en conjunto con la realizada en 2015 y 2016 representaron una aportación cercana a los \$9,000 millones de dólares en inversiones para el desarrollo de proyectos de generación de energía en territorio nacional (Guzmán-Díaz, 2020).

Durante los primeros nueve meses de 2021 (enero-septiembre), se reportó una cifra preliminar de Inversión Extranjera Directa (IED) 5.7% mayor a la alcanzada en el mismo periodo de 2020 (\$23,482.3 mdd).

Lo anterior muestra una recuperación de los flujos de IED, en congruencia con la tendencia positiva mundial, de acuerdo con los últimos datos de la UNCTAD. La IED preliminar registrada para enero-septiembre de 2021 provino de 3,259 sociedades con participación de capital extranjero; 3,721 contratos de fideicomiso y 23 personas morales extranjeras. Además, se integra de la siguiente manera:

- Por tipo de inversión (origen del financiamiento) a través de reinversión de utilidades, 40.3%; por nuevas inversiones, 38.4%; y por cuentas entre compañías, 21.3%
- Por sector: las manufacturas, 45.0%; minería, 14.0%; servicios financieros y de seguros, 10.9%; transportes, 10.0%; comercio, 6.0% y servicios de alojamiento temporal, 4.6%. Los sectores restantes captaron 9.5%
- Por país de origen: Estados Unidos, 49.6%; España, 10.7%; Japón, 6.3%; Alemania, 5.3%; Canadá, 5.2%; y otros países aportaron el 22.9% restante.

La metodología para determinar la IED se basa en estándares internacionales, contenidos tanto en el Manual de Balanza de Pagos del Fondo Monetario Internacional (FMI) como en la Definición Marco de Inversión Extranjera Directa de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

Situación técnica y financiera del sector eléctrico

La iniciativa que reforma los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia energética favorece a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) al limitar la participación de la industria privada en el mercado eléctrico mexicano y dismantelar la estructura institucional regulatoria del mercado eléctrico actual. (Instituto Mexicano para la competitividad A.C., 2021)

El espíritu y letra de la propuesta es revertir la apertura del sector eléctrico al garantizar el 54% de participación de mercado de generación eléctrica a la CFE a costa de la inversión privada. Asimismo, pretende eliminar el andamiaje institucional que permite el funcionamiento del mercado al desaparecer a los órganos reguladores del sector energético la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y al integrar el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) a la CFE. La reestructuración implicaría la eliminación de la separación horizontal y vertical de la empresa en subsidiarias y filiales para reconcentrar las actividades del

sector eléctrico en el antiguo monopolio del Estado y desaparecer, en los hechos, el mercado eléctrico mayorista (MEM). (Instituto Mexicano para la competitividad A.C., 2021)

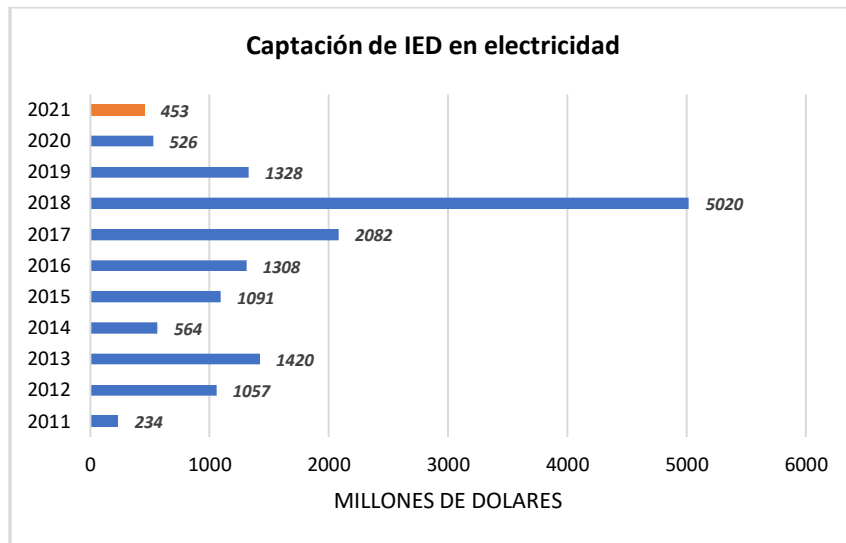
Estas son las seis modificaciones clave que en conjunto buscan reconstituir la estructura de la CFE:

1. Modifica el criterio de despacho de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y cancela los permisos otorgados al sector privado. La iniciativa limita la competencia y libre concurrencia en la actividad de generación de energía eléctrica al acotar la producción del sector privado a 46% del total generado en el país.
2. Revierte la separación horizontal y vertical de la CFE. La iniciativa desaparecería a las empresas productivas subsidiarias y a las empresas filiales de la CFE –con excepción de CFE Telecomunicaciones e Internet para Todos, CFE Capital, CFE energía y CFE Internacional–en contra de lo establecido en los Términos para la Estricta Separación Legal de la CFE (TESL). Mediante los TESL se obligó a la CFE desde 2016 a participar en cada una de las distintas actividades que conforman la industria eléctrica (generación, transmisión, distribución, comercialización y proveeduría de insumos primarios) de forma independiente a través de distintas empresas subsidiarias y filiales con el propósito de fomentar el acceso abierto, la operación eficiente y la competencia en el sector.
3. Elimina los Certificados de Energía Limpia (CEL). Con el propósito de incentivar la generación de energía eléctrica limpia, la Ley de Transición Energética creó la figura de los CELs, los cuales se otorgan por cada Megawatt-hora de energía generada en centrales limpias que iniciaron operaciones después de agosto de 2014. Estos han representado el incentivo más poderoso para atraer inversiones en capacidad instalada limpia.
4. Desaparece la Comisión Reguladora de Energía y la Comisión Nacional de Hidrocarburos.
5. Incorpora el CENACE a la estructura de la CFE. La empresa se convierte en el operador del mercado eléctrico.
6. Establece la explotación del litio como una actividad exclusiva del Estado mexicano. Se establece que la explotación de este mineral no podrá ser concesionada a particulares (con excepción de las concesiones vigentes) bajo el argumento de su importancia estratégica para la transición energética del país.

Los ingresos acumulados de la CFE al cierre del segundo trimestre de 2021 ascienden a 285,963 millones de pesos (mdp), que en comparación con el segundo trimestre de 2020 representan un incremento del 15.5%, equivalente a 38,339 mdp. Dicho incremento es resultado del aumento en los ingresos por venta de combustibles a terceros y por venta de energía, derivado de la recuperación de la demanda de electricidad y de combustibles en los distintos sectores de la economía mexicana, al superarse los efectos de la pandemia. Al segundo trimestre de 2021, los costos de operación de la

CFE sumaron 279,168 mdp, lo que significó un incremento de 93,664 mdp, equivalente a 50.5% en comparación con el mismo periodo del año anterior. Este efecto obedece, principalmente, a un incremento en los costos de energéticos y combustibles, originado por la emergencia climática en Texas registrada en el mes de febrero. Es importante destacar que, en el segundo trimestre de 2021, la CFE revirtió la pérdida cambiaria registrada en el mismo periodo del año anterior, al generar una utilidad por fluctuación cambiaria de 9,184 mdp en 2021, en comparación a la pérdida por 126,137 mdp del 2020. (CFE, ESTADOS FINANCIEROS CFE, 2021)

Figura 1. Inversiones extranjeras en el sector energético



Fuente: gráfico de elaboración propia con datos de (El Economista, 2022)

Respecto al Estado de Situación Financiera, el valor total de los activos de la CFE al cierre del segundo trimestre de 2021 registró un crecimiento del 1.9% respecto al cierre de 2020, al ubicarse en 2,201,290 mdp.

Análisis de costo beneficio de inversión en redes inteligentes

El sector energético en materia de energía eléctrica es una industria altamente regulada, que puede ser justificada por el hecho de que se han realizado grandes inversiones a lo largo de su existencia y de su mejora hacia los modernos sistemas eléctricos que involucran fuentes alternas de energía, redes inteligentes, etc. Esto ha requerido de inversiones multimillonarias alrededor del mundo, lo cual ha llevado a políticas de regulación y de integración en mercados energéticos (Battke y Schmidt, 2015).

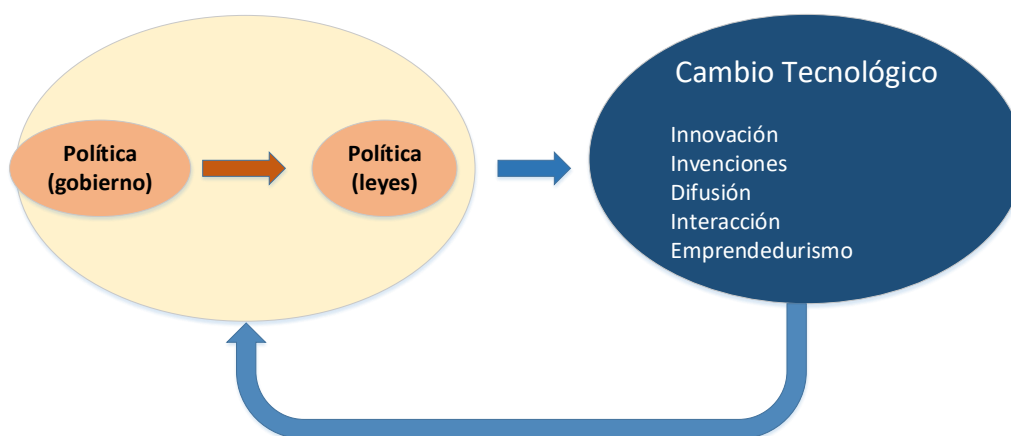
Las reglas de operación (política) es uno de los factores que permiten la inclusión de nuevas tecnologías que permiten su introducción al mercado energético. En este rubro, ya sea a través de un

producto o servicio se tiene que cumplir con las reglas establecidas de acuerdo con la regulación del mercado (leyes), o bien si el producto o servicio se crea a partir de un nuevo mercado tiene por ende que ser regulado (seguimiento tecnológico). La política de intervención se justifica cuando el mercado objetivo no cumple con las políticas preestablecidas en materia de leyes.

Contexto Internacional

Durante la conferencia COP21 de París (Conferencia de las Partes COP, por sus siglas en inglés) sobre el cambio climático y conjuntamente con la Conferencia de Kyoto, la mayoría de los países acordaron incrementar la inversión y con ello una mayor eficiencia energética en cuanto a generación, lo cual implica una disminución sustancial de la emisión de CO₂. Los mayores contaminantes del mundo como China, la Unión Europea y los Estados Unidos representan más del 45% de la contaminación mundial de emisiones de CO₂ y acordaron objetivos “más o menos ambiciosos” en cuanto a la reducción de emisiones.

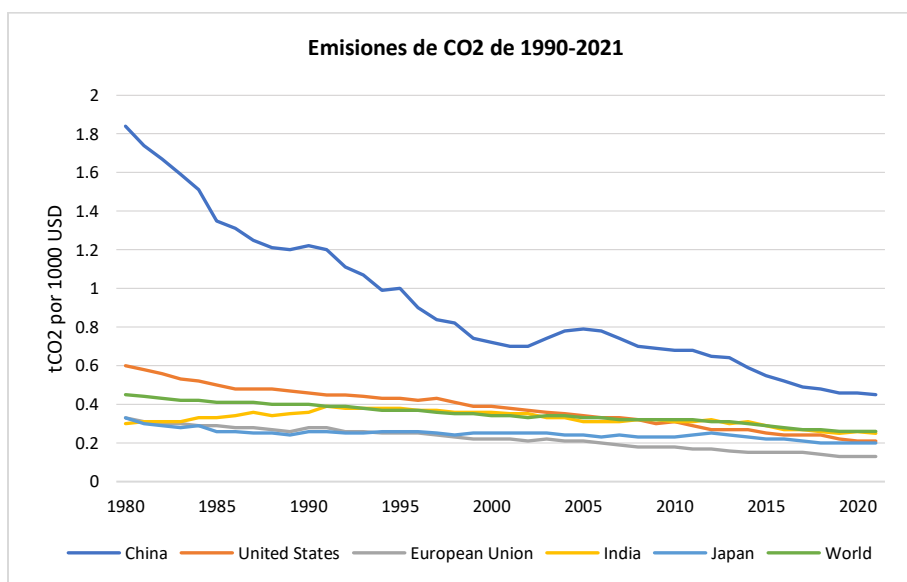
Figura 2. Interacción entre política y cambios tecnológicos



Fuente: elaboración propia

La política oficial establece como meta la reducción de emisiones, y una política de inversión real es un factor clave para el logro de estas metas. La producción de electricidad es una de las más grandes fuentes de emisiones contaminantes con más del 42% del total de emisiones, incluyendo calefacción y/o aire acondicionado lejos de las emisiones industriales (19%) y de la contaminación por medio de transporte (23%) (IEA, 2020).

Figura 3. Emisiones globales de CO2, registros históricos del mundo



Fuente: gráfico de elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020)

Esto explica por qué el sector eléctrico está enfocado a la disminución de emisiones contaminantes. Adicionalmente se puede considerar el hecho de que otros sectores planean el cambio de combustibles fósiles a la electricidad (los sistemas de transporte, por ejemplo), lo cual incrementaría la cantidad de electricidad demandada. De acuerdo con esto los gobiernos seguramente apoyarán tecnologías a costos inferiores y que ayuden a cumplir con sus objetivos de desarrollo.

Cambio del Sistema Eléctrico Nacional hacia un esquema de red inteligente

El actual gobierno mexicano, a través de su documento titulado Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) (2021, PRODESEN) ha establecido como una meta la implementación de redes eléctricas inteligentes (REI) para la modernización de la red de transmisión y de las redes de generación distribuida, que satisfaga la demanda eléctrica de una manera eficiente, sustentable y confiable que a su vez incorporará nuevas tecnologías de promueven la disminución de costos en el sector eléctrico.

Algunas de las acciones, estrategias y proyectos en este contexto, se enumeran de acuerdo con lo siguiente (2021, PRODESEN),

- Uso de tecnologías digitales para la mejora de la confiabilidad y la estabilidad de la red nacional de transmisión y de las redes de distribución
- Proyectos de integración de generación distribuida a partir de fuentes renovables

- Uso de tecnologías inteligentes para la medición y comunicación de las redes inteligentes a través de sistemas de medición avanzada (AMI), tales como el uso de medidores inteligentes
- Información hacia los consumidores
- Desarrollo de tecnologías para el almacenamiento de electricidad y tecnología para responder a la demanda
- Investigación sobre la viabilidad de precios a los consumidores de electricidad en tiempo real o bien por periodos de uso

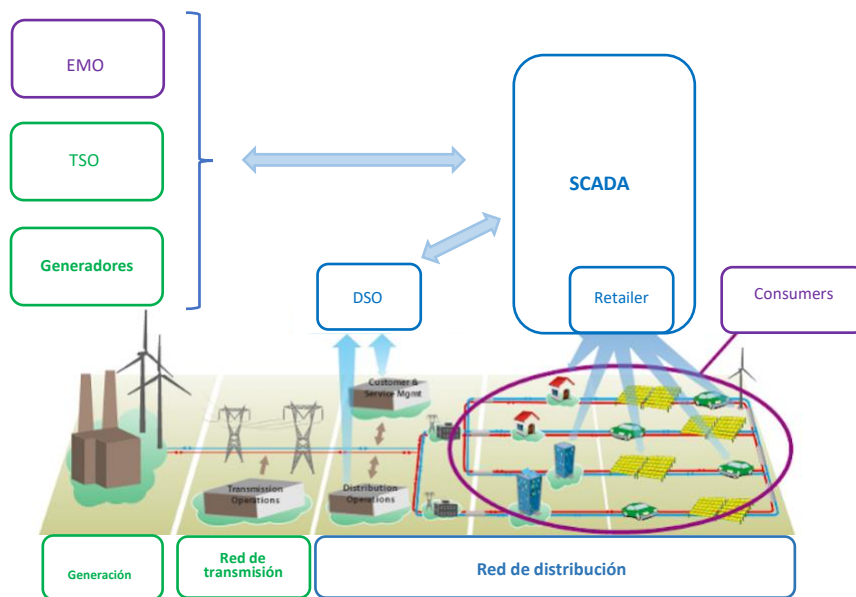
Respecto a la infraestructura basada en dispositivos de medición avanzada, se prevé la adquisición de dichos dispositivos, reemplazo de medidores convencionales y la creación de infraestructura de la instalación de estos dispositivos de medición. En dicho documento (2021, PRODESEN) se especifica una inversión de 6,082 millones de pesos en el periodo comprendido entre 2021 al 2025, así como la instalación de alrededor de 15,000 puntos de medición, sistemas de telecomunicaciones, análisis de datos, puesta en servicio que representa una inversión de 7,016.06 millones de pesos. Estas cifras representan una transición del sistema eléctrico convencional al de una red inteligente, objetivo contemplado dentro de los propósitos en materia de electricidad propuestos por el gobierno de México.

El modelo de negocio eléctrico

Los componentes de un entorno de negocio eléctrico, sus propiedades, contribuciones a la red y arquitectura general de la red inteligente se muestran en el diagrama de la Figura 4. Cabe hacer notar el rol protagónico que ahora tiene la red de distribución, a través de elementos de generación distribuida, consumidores que interactúan a través de un sistema avanzado de control y adquisición de datos (sistema SCADA) con las compañías a cargo de la operación de mercado (EMO), los operadores del sistema de transmisión (TSO) y la generación.

Cabe hacer mención que este tipo de modelo de negocio, para el entorno del sistema eléctrico mexicano, es novedoso y deseable que actúe de esta manera. A pesar de que aparentemente la reforma eléctrica rechaza la participación de compañías (fuera de la C.F.E.) a participar dentro del entorno de mercado eléctrico, técnicamente y debería de hacer cambios similares a los aquí propuestos que involucren nuevos participantes, la creación de entornos de redes eléctricas inteligentes y con ello, nuevas y más limpias formas de generación de energía eléctrica.

Figura 4. Modelo eléctrico de negocio



Fuente: elaboración propia

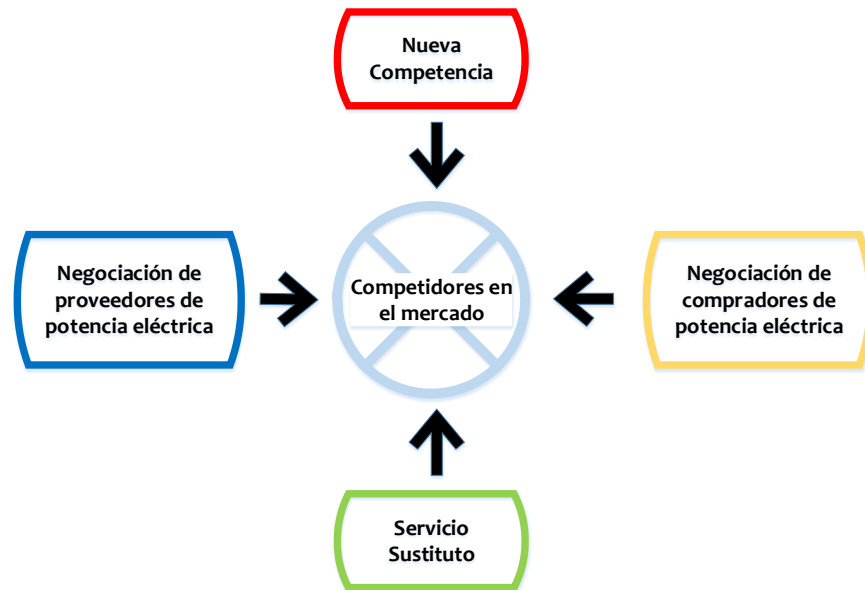
Las 5 fuerzas de Porter

Si bien la operación del mercado energético no es del todo un “nuevo producto” sobre todo en el orden mundial en el cual se involucra la operación en mercado energético que involucra varios participantes en el sector, en el caso mexicano sí que sería un producto novedoso, dado que el sistema eléctrico siempre ha sido regido con tendencias al monopolio (representado por la paraestatal Comisión Federal de Electricidad). Por tal motivo se echa mano de las 5 fuerzas de Porter, como una herramienta útil para identificar los aspectos y participantes en este esquema de mercado.

Resulta conveniente puntualizar que la electricidad no es un bien como cualquier otro. Mucha gente lo percibe como un bien público, sin embargo, como tal un bien público es un *item* cuyo consumo está determinado por la sociedad y no por consumidores individuales. Desde esta perspectiva, la electricidad no es precisamente un bien público.

Históricamente, los gobiernos han estado muy involucrados en el desarrollo de la red eléctrica y la gente suele asimilar las acciones gubernamentales con los servicios y bienes públicos. Además, la electricidad puede ser vista como parte del sistema nacional de seguridad, lo que justifica algunas intervenciones políticas. Esto en un momento dado explica el por qué la electricidad no es vista como un bien “clásico”. Esto es muy importante en un sentido que cambia la percepción de los clientes, y su aceptación hacia nuevos productos o evolución de precios. Incluso si la electricidad no es un bien público, a menudo tiene que ser tratado como tal, y casi siempre necesita apoyo político para hacer cambios importantes.

Figura 5. Las 5 fuerzas de Porter aplicadas al mercado eléctrico



Fuente: diagrama de elaboración propia

➤ *Nueva competencia*

En el caso del rol de operador de la red de distribución: Hoy en día, el mercado de la electricidad es un mercado cerrado o un mercado restringido. En mercados restringidos, existe competencia y, por lo tanto, la amenaza de nuevos participantes. Conseguir un nuevo cliente por lo general cuesta 7 veces más que mantener uno, como regla general. Lo que significa que el nuevo participante tendría costos al menos 7 veces más altos para ingresar al mercado. De tal manera que la amenaza de los nuevos entrantes es relativamente pequeña. Para mercado cerrado, obviamente no existen riesgos.

➤ *Capacidad negociadora de los clientes*

Los compradores tienen poder para negociar sólo si se les permite cambiar de proveedor y procedimiento fácilmente. Sin embargo, la electricidad es una necesidad, por lo que los clientes tienen menos margen para negociar. El poder de negociación del cliente es limitado y puede expresarse principalmente a través de asociaciones de consumidores, las cuales son más o menos poderosas dependiendo del país, pero en nuestro caso, sobre todo dependiendo del respaldo de las instancias gubernamentales.

A escala local, una ciudad, por ejemplo, los clientes pueden tener influencia a través de las ideas y cambios políticos. Si un proyecto de implementación de redes inteligentes y mercados energéticos no es popular, es poco probable que la política apoyará el proyecto (pueden citarse

casos tales como el horario de verano en México). Y tal como se mencionó previamente, dado que la electricidad se considera como bien público, la política tiene una influencia considerable

➤ *Amenaza de productos o servicios sustitutos*

Los productos existentes dentro de las redes inteligentes, enfocado específicamente al caso de dispositivos de medición avanzada, tales como las "cajas inteligentes", ya existen y ofrecen relativamente servicios similares para los consumidores finales: gestión del consumo de energía, medición de consumo en tiempo real, programas completos con aplicaciones inteligentes para los usuarios, etc. Sin embargo, desde el punto de vista de la red no son capaces de ofrecer los mismos servicios: estado de la red, detección de averías, respuesta a la demanda de servicios complementarios.

➤ *Poder de negociación del proveedor.*

Los medidores inteligentes no son muy complicados de desarrollar, por lo que otros proveedores pueden reproducirlos fácilmente. La única ventaja que puede tener un proveedor es si está cumpliendo con las normas más recientes (Normas internacionales y la norma oficial mexicana en esta materia). En definitiva, el poder de negociación de proveedores también es muy pequeña.

➤ *Rivalidad competitiva*

En el caso del mercado regulado, el peor de los casos para una compañía distribuidora existente sería una gran empresa con una sólida posición financiera cuya situación le permita invertir en otra distribuidora, con un claro objetivo de expandirse y conseguir nuevos clientes. De lo contrario, el distribuidor que administra mejor su red, con bajas tasas de fallas y ahorros tarifarios para sus clientes, puede aprovechar y ganar aún más clientes. Una vez más, en un mercado cerrado, el riesgo es nulo.

➤ *Conclusión*

La primera observación que se puede establecer a partir de las 5 fuerzas de Porter es que los principales actores dependen del tipo de mercado y de la regulación vigente. Otra conclusión que puede extraerse está asociada con que, en la mayoría de los casos, el actor principal es el hacedor de políticas, que muy a menudo se refiere al gobierno y sus decisiones basadas en intereses políticos. Las 5 fuerzas de Porter permiten comprender la interacción entre los principales implicados, e interpretar los resultados en función del análisis de costo beneficio (CBA). Este razonamiento indica qué jugador debe pagar, y por qué razón, o quién debe ser solicitado para garantizar una participación justa (Le Grelle M., 2016).

Modelo del análisis de costo beneficio

A continuación, se presenta el marco de referencia del análisis de costo beneficio con los diferentes factores considerados y algunas otras condiciones implementadas en el modelo. Este marco de referencia presenta algunas mejoras en relación con los modelos existentes.

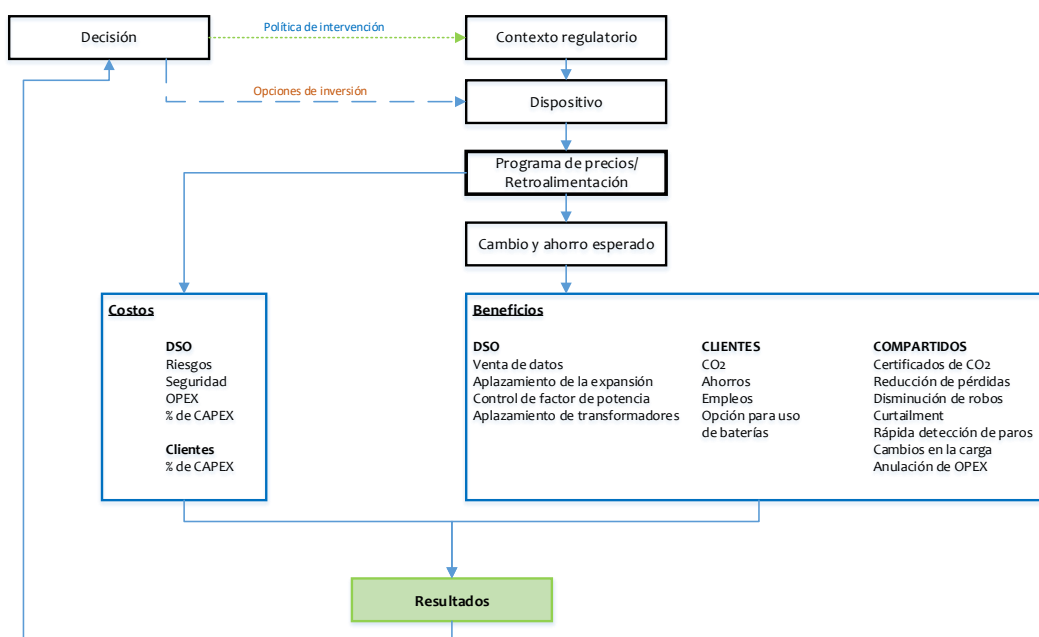
Este marco de referencia se centra en establecer una metodología general para el análisis de costo beneficio (CBA) para la aplicación de una parte fundamental de las redes inteligentes que son los dispositivos de medición avanzada, cuya base está fundamentada en la adecuación de la red para la adquisición e instalación de medidores inteligentes en áreas residenciales que puede ser adaptado a situaciones específicas. Para tal propósito, se establecerá una lista de aspectos de entrada que pueden ser divididos en dos categorías:

- Opciones, que determinan el escenario de operación
- Datos, que aportan la información específica del caso

En algunos casos, los datos están dados por default inclusive a través de una hoja Excel. Pero la principal entrada de información de esta hoja Excel es que sea capaz de jugar con diversas opciones, y de observar el efecto directo del CBA.

Primeramente, se detalla las entradas clave que determinarán el escenario, pasando entonces por aspectos tales como el CAPEX, OPEX y los riesgos, para posteriormente describir los beneficios para los operadores de la red eléctrica (DSO), la sociedad, y las oportunidades creadas.

Figura 6. Modelo eléctrico de negocio



Fuente: elaboración propia

La Figura 6 muestra el esquema para entender la interrelación entre los aspectos mencionados. El CBA también pretende determinar o dar un indicativo de a quién beneficia de acuerdo con su rol en el modelo. Debe de hacerse énfasis de que el beneficio de la red no necesariamente beneficia al operador de la red DSO, así que mayormente los beneficios pasarán al consumidor.

Los costos

Algunas consideraciones iniciales están basadas en que no se estiman costos de actualización de los equipos, o cambios sustanciales en los equipos y tecnologías del sistema de medición avanzada, sino que este cambio ocurrirá dentro de un periodo lo suficiente aceptable para ser tomado en cuenta desde el inicio del estudio. Tradicionalmente el valor del activo está dado por el valor de su vida económica restante. También, se asume que el deterioro de los SM es lineal de acuerdo con una escala de tiempo de la operación del equipo.

Los costos de operación y los riesgos serán descontados del año de operación del equipo, para considerar el valor adquisitivo y la situación financiera nacional. El descuento se puede estimar como,

$$R_{\text{desc}} = R_{\text{gob.tasa interés}} + R_{\text{riesgo}} \quad (1)$$

CAPEX

CAPEX es un acrónimo de Capital Expenditures (Gastos de Capital). Se hace referencia en este índice a los fondos de una compañía que son destinados a la compra de propiedades, plantas, edificios, equipo o tecnología, y por lo tanto representan una inversión.

Los SM son controlados remotamente lo cual aporta posibilidades de tratar de reducir costos con los diferentes tipos de servicios que estos ofrecen. La operación de SM implica infraestructura de comunicación, procesamiento y almacenamiento de datos. Las principales categorías de estos costos son: IT (tecnologías de la información), gestión de proyecto, hardware de red, la instalación del propio dispositivo. Se estima que los costos repartidos para la determinación del CAPEX están dados tal como se muestra en la Figura 7.

El CAPEX anual se calcula como,

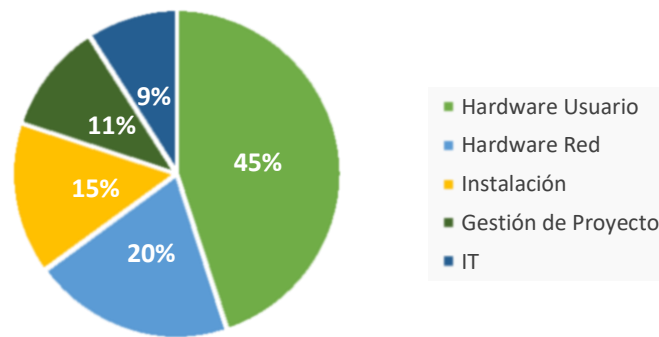
$$CAPEX(t) = \text{No. de SM}(t) \times C_{\text{inversión}} \times (1 + WACC)^t \quad (2)$$

$$WACC = \text{interés} + \text{riesgo}$$

$$C_{\text{inversión}} = C_{\text{instalación}} + C_{\text{técnicos}} + C_{\text{LAN}} + C_{\text{conexión}} + C_{\text{dispositivo}} + C_{\text{web}}$$

El WACC se puede determinar de diferentes maneras; aquí se propone utilizar la tasa de interés y prima de riesgo para poder adaptar la WACC a un país y luego plantear diferentes escenarios cambiando la prima de riesgo.

Figura 7. Desglose de costos para un sistema de medición avanzada



Fuente: elaboración propia con datos de (EPRI 2015)

Se asume que la totalidad del capital debe estar asegurado al comienzo del proyecto de instalación de dispositivos avanzados de medición, porque el WACC real es extremadamente bajo en comparación con los últimos 20 años y porque es una inversión arriesgada. En oposición al aumento anual del capital, donde WACC podría ser renegociado cada año, y evitaría bloquear una cantidad importante de capital con 10 años de anticipación. Ambos métodos son correctos, y el WACC puede cambiar sensiblemente según el método utilizado y el banco o la empresa.

Todos y cada uno de estos conceptos, los autores pretenden en investigaciones futuras adaptarlos a la situación real energética de México, más aun incorporando las particularidades que representan la reforma eléctrica que se describirá en las siguientes secciones de esta investigación.

Conclusiones

La reforma en materia de electricidad propuesta en el año 2021 por el poder ejecutivo ha sido analizada exhaustivamente estableciendo una comparación con aquella propuesta en el 2013 por el anterior gobierno, estableciendo las principales ventajas y desventajas de dichas propuestas. Se puede concluir que ambas propuestas establecían diferentes modos del manejo del país en materia de energía eléctrica. Sin embargo, dadas las cada vez más drásticas afectaciones en materia de contaminación y de efecto invernadero, no solo de México sino del mundo, resulta de vital importancia establecer proyectos que contemplen un cambio en el paradigma de los sistemas eléctricos.

En este trabajo, a su vez, se han descrito aspectos que pueden considerarse dentro de las características de operación, no sólo técnica, sino organizacional y económica de un sistema basado en redes inteligentes y que involucren la adopción de mercados energéticos, dentro de los cuales la producción mediante fuentes renovables tome una participación primordial.

Cabe resaltar que los autores de este trabajo de investigación han descrito conceptos económicos tales como las 5 fortalezas de Porter, análisis que muestra las ventajas competitivas de la operación del mercado energético, así como las bases de un análisis de costo-beneficio de dicho mercado, haciendo énfasis en una parte de la red eléctrica inteligente que son los dispositivos de medición avanzada. Quedan aspectos de investigación futuros por desarrollar en esta materia y ampliar el análisis bajo la particularidad de la situación del sistema eléctrico mexicano y sus decisiones políticas y económicas.

Referencias

- Battke, B. y Schmidt, T. S. (2015). Cost-efficient demand-pull policies for multipurpose technologies – The case of stationary electricity storage. *Applied Energy*, 155, 344-348
- Cámara de Diputados, LXV Legislatura (2021). Iniciativa del Ejecutivo federal Con proyecto de decreto, por el que se reforman los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia energética, *Gaceta Parlamentaria, Palacio Legislativo de San Lázaro*, Número 5877-I, Año XXIV, viernes 1 de octubre de 2021
- Cecati C., Mokryani G., Piccolo A. y Siano P., (2010). "An overview on the smart grid concept," *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, doi: 10.1109/IECON.2010.5675310
- CFE (2021). *Generación de Energía de la CFE con Base en Tecnologías Limpias*. Coordinación de Comunicación Corporativa. Boletín de Prensa <https://www.cfe.mx/cdn/2019/Archivos/Boletines/220Generaci%C3%B3nLimpiaVF.pdf>
- Clavellina J. L. y Perea S, (2022). Aspectos Relevantes de la Reforma Constitucional en materia Eléctrica 2021. *Economía Informa*, 1(432), 5.
- Comisión Reguladora de Energía, (2014). Marco Regulatorio de la Red Eléctrica Inteligente (REI) en México. *Reporte Final, Informe financiado por la Agencia de Comercio y Desarrollo de Estados Unidos de América (USTDA)*, disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102193/6068.pdf>
- Cruz May E., *et al.*, (2022). Towards the liberalization of the energy market: structural changes and implementation challenges of the 2013 Mexican energy reform insights in the energy nexus. *Energy Nexus*, 5, 100045, ISSN 2772-4271, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100045>
- De la Vega, A. (2002). Hacia una política industrial y tecnológica para el sector energético. Las industrias de los hidrocarburos”, en *Política económica para el desarrollo sostenido con equidad*, (J.L. Calva, coordinador), Casa Juan Pablos-UNAM, México
- DOF (Diario Oficial de la Federación)(9 de marzo de 2021). *DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley de la Industria Eléctrica*, disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5613245yfecha=09/03/2021#gsc.tab=0
- Dussel Peters, E. (2015). Política industrial ¿sí o no? ¿es esa la cuestión para México en 2015? Enseñanzas del caso de China. *Boletín Informativo Techint*, 347

- El Economista (2022). Inversiones extranjeras en sector energético registran poca fuerza, Redacción, *El Economista*, <https://www.economista.com.mx/empresas/Inversiones-extranjeras-en-sector-energetico-registran-poca-fuerza-20220330-0047.html>
- EPRI (2015). *Advanced Metering Infrastructure requirements for Future-proof Deployments*. EPRI, 2015.3002006738
- Guzmán S. (2020). Inversión Extranjera Directa en el desarrollo de la industria renovable mexicana. *World Energy Council, Capítulo México, Artículos del GdeJ*
- IEA (2020). *CO2 Emissions from Fuel Combustion*, Statistics report. International Energy Agency (IEA).
- Instituto Mexicano para la Competitividad (2021). Iniciativa de reforma constitucional en materia energética: México necesita competencia en el mercado eléctrico. *Boletín IMCO, Centro de Investigación en Política Pública*, 01 de octubre de 2021, disponible en: <https://imco.org.mx/legislar-contra-la-competencia/>
- Le Grelle M. (2016). *Cost Benefit Analysis of Smart Meter Deployment for Residential Customers, a Holistic Approach*. Master's Thesis, PSL1603, EEH - Power Systems Laboratory, ETH Zurich.
- León-Trigo L. I. *et al.*, (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XX (2), 1-12, ISSN 2594-0732, FI-UNAM
- Martínez, F., *et al.* (2016). La reforma energética de 2013/2014 y el desarrollo industrial en México: contenidos, implicaciones y propuestas. *Análisis Económico*, XXXI (78). Tercer cuatrimestre.
- Merchand, M. (2015). Estado y reforma energética en México. *Problemas del desarrollo*, 46(183), 117-139. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2015.10.006>
- Sanz J., *et al.*, (2014). Microgrids, a new business model for the energy market. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14)*, Cordoba (Spain).
- Secretaría de Energía (17 de junio de 2015). *Resumen de la explicación de la Reforma Energética. Resumen Ejecutivo*. Gobierno de México. disponible en: <https://www.gob.mx/sener/documentos/resumen-de-la-explicacion-de-la-reforma-energetica>
- Secretaría de Energía (2021). *Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2021-2035*. Gobierno de México
- Tapia, G., *et al.*, (2020). Análisis de la extracción de petróleo y gas, y el impacto de la reforma energética en México. *Realidad Económica*, 25(65).
- Vázquez J. T. *et al.*, (2021). *Iniciativa de Reforma Constitucional en Materia Eléctrica. Potenciales consecuencias en las finanzas públicas*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A.C., disponible en: <https://ciep.mx/iniciativa-de-reforma-constitucional-en-materia-electrica-potenciales-consecuencias-en-las-finanzas-publicas/>
- Wang Y., Chen Q., Kang C. (2020). *Overview of Smart Meter Data Analytics*. In: *Smart Meter Data Analytics*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2624-4_1.