Observatorio Colombiano de Energía
Aproximación a las condiciones para su conformación.

Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá,
Unidad de Planeación Minero Energética UPME.

Proyecto identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un observatorio de energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050.
Bogotá, Julio de 2018

OBSERVATORIO COLOMBIANO DE ENERGÍA - Aproximación a las condiciones para su conformación - 2018

OBSERVATORIO COLOMBIANO DE ENERGÍA

Aproximación a las condiciones para su conformación

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

upme
Unidad de Planeación Minero Energética

Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

Universidad del Valle

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

upme
Unidad de Planeación Minero Energética

OBSERVATORIO COLOMBIANO DE ENERGÍA

Aproximación a las condiciones para su conformación

PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y REQUISITOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN, ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN OBSERVATORIO DE ENERGÍA QUE RECOPILE Y ANALICE INFORMACIÓN QUE CONDUZCA A OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS DEL PEN 2050

Ministerio de Minas y Energía
Germán Arce Zapata – Ministro

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME
Ricardo Ramirez – Director
Carlos García - Subdirector de Demanda

Universidad Nacional de Colombia,
Grupo de Investigación en el sector energético colombiano GRISEC
Modelamiento Y Análisis Energía Ambiente Economía
InTIColombia
Omar Prias, Director del proyecto

Universidad del Valle
Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA
Instituto de Prospectiva de la Universidad del Valle

Corporación centro del desarrollo tecnológico del gas

Diagramación e Impresión
Amadgraf Impresores Ltda.
amadgraf@gmail.com
Julio de 2018

EQUIPO DE TRABAJO PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y REQUISITOS MÍNIMOS NECESARIOS PARA LA FORMULACIÓN, ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN OBSERVATORIO DE ENERGÍA QUE RECOPILE Y ANALICE INFORMACIÓN QUE CONDUZCA A OPORTUNIDADES DE INNOVACIÓN PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS DEL PEN 2050

Unidad de Planeación Minero Energética
Subdirección de Demanda
Carlos García - Subdirector
Leonardo Camacho - Subdirección de Demanda
Juan Francisco Martínez - Subdirección de Demanda

Universidad Nacional de Colombia
Grupo de Investigación en el sector energético colombiano GRISEC
Omar Prias, Director del Proyecto
German Corredor, Experto en Mercados Energéticos y Regulación
Jenny Marcela Sánchez, Asesora Metodológica Vigilancia Tecnológica
David B. Rojas, Apoyo y coordinación
Andrea Rodríguez, Apoyo y coordinación
Luis de la Rosa Ramos, Vigía Tecnológico
Jair A. Castañeda, Vigía Tecnológico
Sergio Rodríguez, Vigía Tecnológico
Laura M. Cruz, Vigía Tecnológico
Oscar D. Zambrano, Vigía Tecnológico

Modelamiento Y Análisis Energía Ambiente Economía
Sergio Botero Botero, Experto Área Organizacional
Anderson D. Jiménez, Estudiante Auxiliar
Luis A. Álzate, Estudiante Auxiliar

InTIColombia, Universidad Nacional de Colombia
Mauricio Tovar, Experto en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Juan D. Guarnizo, Estudiante Auxiliar

Universidad del Valle
Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA
Guillermo Aponte, Coordinador Clúster de Energía Eléctrica del Suroccidente
Héctor Cadavid, Apoyo y Coordinación
Juan D. Mina, Estudiante Auxiliar

Instituto de Prospectiva de la Universidad del Valle
Leonardo Solarte, Director
Alexis Aguilera, Asesor en Prospectiva
Mónica Aguiar, Profesional Especializada
Raúl Tabarquino, Docente Facultad de Ciencias de la Administración

Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS
Henry Abril, Director CDT del Gas
Carlos E. García S, Líder Área de Investigación CDT del Gas

Especialistas externos
Mauricio Penagos, Experto en Finanzas
María Manuela Pérez, Abogada Experta

Edición del documento
Laura M. Quiroga C. – Universidad Nacional de Colombia

CONTENIDO

PRESENTACIÓN 13

RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA. 17

2.1. Los desafíos energéticos mundiales 17

2.2. El rol fundamental de las tecnologías 4.0 en la transición energética 19

2.3. ¿Qué significa la transición energética para Colombia?. 20

LOS OBSERVATORIOS Y LA ORIENTACION DE DECISIONES ESTRATEGICAS 29

3.1. ¿Qué es un Observatorio? 30

3.2. Observatorios de Energía en el mundo 31

3.3. Observatorios en Colombia 34

EL OBSERVATORIO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA 39

4.1. Elementos Estratégicos y Funcionales 40

4.3. Requerimientos Técnicos, Tecnológicos e Informáticos 47

4.4. Estructura financiera y de sostenimiento del Observatorio 49

4.5. Formulación y seguimiento de Indicadores de desarrollo sostenible para el sector energético 53

4.6. Aspectos claves para la puesta en marcha y funcionamiento 54

VIGILANCIA TECNOLÓGICA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ESCENARIOS ENERGÉTICOS 59

5.1. Tecnologías emergentes en fuentes renovables de energía y regulación para la transición energética 61

5.2. Tecnologías de almacenamiento para energía generada a partir de fuentes renovables 71

5.3. El mercado de tecnologías de almacenamiento y sus oportunidades para Colombia 76

5.4. Tendencias tecnológicas en Sistemas de Transmisión de energía eléctrica para grandes cantidades de energía generada a partir de fuentes renovables 78

5.5. Aprovechamiento de energía solar térmica para calentamiento y enfriamiento 83

5.6. Vehículos eléctricos: Tecnologías de almacenamiento y programas de promoción 90

5.7. I+D+i como una apuesta para la competitividad del sector energético de cara a la transición 100

PROSPECTIVA PARA LA FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA PARA COLOMBIA 107

6.1. Metodología y herramientas usadas en la formulación de escenarios 108

6.2. Identificación de tendencias 110

6.3. Priorización de variables 111

6.4. Escenario apuesta: La transición energética como una ventaja competitiva para Colombia. 113

EL CAMINO HACIA LA CONSOLIDACIÓN DEL OBSERVATORIO 121

BIBLIOGRAFÍA 127

ANEXOS 133

ANEXO 1: Escenarios Optimista, Pesimista, Inercial y probable para cada una de las dimensiones consideradas en el ejercicio de prospectiva 133

ANEXO 2: Acciones y líderes para los escenarios apuesta 2030-2040-2050 142

ANEXO 3. Documentación de soporte del proyecto 146

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Elementos normativos planteados por la Ley 1715. 22
Ilustración 2. Escenarios energéticos a 2050 de acuerdo con el PEN 2050 24
Ilustración 3. Localización de los Observatorios de Energía estudiados 32
Ilustración 4. Clasificación de los observatorios nacionales por área de estudio 34
Ilustración 5. Misión, Ejes estratégicos y funciones del Observatorio 41
Ilustración 6. Actividades fundamentales y tareas correspondientes 43
Ilustración 7. Unidades Organizacionales: Estratégicas y de Apoyo 44
Ilustración 8. Estructura organizacional para el OEC 45
Ilustración 9. Modelo de Negocio del OEC por la metodología CANVAS 46
Ilustración 10. Diagrama de arquitectura para aplicativo Web 48
Ilustración 11. Fuentes de Financiación 50
Ilustración 12. Productos y servicios del Observatorio de Energía. 52
Ilustración 13. Metodología de los Ejercicios de Vigilancia Tecnológica 60
Ilustración 14. Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016 63
Ilustración 15. Costo nivelado de la energía por región (2016), ... 64
Ilustración 16. Costo nivelado de Energía (LCOE) Fotovoltaica proyectado 2050. 65
Ilustración 17. Medidas y políticas para la promoción e integración de energías renovables. 66
Ilustración 18. Árbol temático de las políticas para energías renovables. 67
Ilustración 19. Relación entre investigación y desarrollo en energía solar fotovoltaica 70
Ilustración 20. Clasificación de las tecnologías de Almacenamiento 72
Ilustración 21. Tendencias en el almacenamiento de energía 77
Ilustración 22. Tipos de sistemas de transmisión 79
Ilustración 23. Configuración básica de un sistema HVDC. 79
Ilustración 24. Tipos de colectores y sus características principales 84
Ilustración 25.Tipos de sistemas de calentamiento solar térmico 85
Ilustración 26. Características y ventajas de los tipos de Sistemas de Calentamiento solar térmico 86
Ilustración 27. Sistemas de refrigeración con energía solar térmica 87
Ilustración 28. Comparación principales tecnologías de refrigeración solar térmica 88
Ilustración 29. Panorama de las tecnologías solar térmica para calentamiento y enfriamiento 89
Ilustración 30. Estado de desarrollo de diferentes usos del calentamiento solar térmico 90
Ilustración 31. Sistemas híbridos más usados 93
Ilustración 32. Costo de la instalación de puntos de carga en los principales mercados de Vehículos Eléctricos. . . . 97
Ilustración 33. Evolución de las tecnologías de almacenamiento de energía para vehículos 99
Ilustración 34. Métodos empleados para la construcción de escenarios 108
Ilustración 35. Etapas metodológicas desarrolladas para el ejercicio de prospectiva 109
Ilustración 36. Análisis MIC MAC para identificación de variables fuerza. 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos comunes y diferenciadores de los Tipos de Observatorios 31

Tabla 2. Observatorios de Energía estudiados 32

Tabla 3. Sector al que se circunscriben los observatorios. 35

Tabla 4. Estructura presupuestal del observatorio de energía 50

Tabla 5. Indicadores de desarrollo sostenible para seguimiento por parte del OEC. 53

Tabla 6. Fortalezas y oportunidades de las tecnologías de celdas solares. 62

Tabla 7. Marco legal colombiano para la promoción de las fuentes no convencionales de energía renovables 68

Tabla 8. Características de los diferentes tipos de baterías 73

Tabla 9. Características eléctricas de los supercondensadores por material 74

Tabla 10. Características, ventajas y desventajas de las tecnologías de almacenamiento evaluadas. 75

Tabla 11. Tipos de conexión de los sistemas de transmisión HVDC 80

Tabla 12. Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de Configuración HVDC. 81

Tabla 13. Clasificación de los ESS presentes y en investigación para los VE. 91

Tabla 14. Resumen de los informes de VE a nivel mundial 94

Tabla 15. Evaluación cualitativa de las acciones implementadas a nivel mundial para impulsar el mercado de los VE. 95

Tabla 16. Revisión de los incentivos implementados a nivel mundial 96

Tabla 17. Programas de infraestructura implementados a nivel mundial 98

Tabla 18. Identificación de variables para la Transición Energética de Colombia 2050 111

Tabla 19. Cuadrantes del método MIC-MAC 112

Tabla 20. Componentes de la transición energética usados en la formulación de escenarios 113

Tabla 19. Factores críticos de vigilancia 122

1. PRESENTACIÓN

1

PRESENTACIÓN

La Unidad de Planeación Minero Energética - UPME identificó la necesidad de evaluar la creación de un observatorio de energía para facilitar el seguimiento y monitoreo de los objetivos e idearios del sector energético colombiano al 2050. En respuesta a esta necesidad, se planteó la creación del Observatorio de Energía, mediante el desarrollo del proyecto de investigación "Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050".

Para tal fin, se conformó un equipo de investigadores de alto nivel, con pertinencia nacional y regional, liderado por la Universidad Nacional y con participación de la Universidad del Valle y la Corporación de Desarrollo Tecnológico de Gas. El equipo se complementó con expertos en temas energéticos, financieros, legales, soporte tecnológico y Tecnologías de Información y Comunicación (TIC).

Como resultado de este trabajo, en esta publicación se exponen los lineamientos de una propuesta de Observatorio de Energía para Colombia (OEC) en las dimensiones organizacional, técnica y financiera, que podría ser liderada desde la UPME acorde con los desarrollos futuros de su estructura y de los mandatos del Plan Nacional de Desarrollo y del documento CONPES 3934, Política de Crecimiento Verde.

Para la fecha de publicación, la Unidad adelanta una formulación del Plan Energético 2050, como desarrollo del Ideario publicado en 2015 y que deberá ser insumo para la formulación de política energética en los próximos meses.

El observatorio responde a las necesidades presentes y futuras del sector energético, como se deriva del análisis varios ejercicios de prospectiva recientes, de la iniciativa evaluada por ANDESCO para crear un Centro de Pensamiento (ANDESCO, 2014) y la más reciente derivada de los estudios de la Misión de Crecimiento Verde, liderada por el DNP (Estudio para la Misión de Crecimiento Verde en Colombia: Estrategia y Acciones Recomendadas en Energía, 2018). La conveniencia del observatorio queda explícita en el documento CONPES 3934, Política de Crecimiento Verde (julio de 2018), en el que se le da lineamientos a la UPME para el desarrollo de la propuesta para creación del observatorio, la gestión de los recursos para su implementación y el aseguramiento de su operación a partir del año 2022.

El observatorio se proyecta como una entidad clave para el seguimiento de las tendencias y escenarios energéticos, tanto a nivel mundial como regional y nacional. Igualmente, resulta ser una entidad clave para el monitoreo de factores relacionados con el impacto de la energía en la sociedad en su conjunto, así como también para la vigilancia de las nuevas tecnologías a lo largo de la cadena energética, la construcción y desarrollo de indicadores y el análisis y la difusión de resultados como elementos para la toma de decisiones de los actores de interés.

La publicación incluye también los resultados de ejercicios demostrativos relacionados con las funciones del observatorio en vigilancia y prospectiva. Estos aspectos se ejemplifican mediante el desarrollo de cinco ejercicios vigilancia tecnológica y un planteamiento de escenarios prospectivos para la transición energética en Colombia. Las tendencias identificadas permiten dar señales de los aspectos sobre los cuales el Observatorio debe hacer seguimiento en función de los aspectos clave de la transición energética en cada uno de sus componentes.

Valga señalar, que esta publicación ofrece elementos de juicio para avanzar en el estudio de un Observatorio de Energía y no representa la posición oficial de la Unidad sobre su viabilidad, cronograma y presupuesto.

2. RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

2

RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

El crecimiento constante de la demanda de energía a nivel mundial desde la década de los 70, soportada principalmente por combustibles fósiles, con todos los problemas e impactos de carácter ambiental, social y político que esto implica, genera dificultades e incertidumbre en la configuración de un futuro diferente para el sector, que garantice los beneficios relacionados con la equidad, la cobertura, así como también con el abastecimiento y el suministro confiable, limpio y eficiente.

En respuesta a estas preocupaciones, están emergiendo tendencias disruptivas que implican la creación de un mundo con nuevas condiciones para la industria energética. Algunos de los factores que acentúan esta situación son el bajo crecimiento poblacional, el desarrollo de tecnologías radicales, los grandes retos ambientales y los cambios en el poder económico y geopolítico (WEC, 2016). Al respecto, el Global Energy Assesment (GEA) expresa que es posible alcanzar los objetivos de la industria energética a futuro, pero se requerirá una transformación tecnológica de los sistemas de energía globales en las próximas décadas, así como agilizar los cambios en políticas que busquen concentrar y coordinar esfuerzos hacia este objetivo (Riahi, McCollum, & Krey, 2012). Esto implicaría un cambio de la economía de la energía, que se ha denominado la *Transición Energética* o La *Gran Transición* (WEC, 2016).

2.1. Los desafíos energéticos mundiales

En términos energéticos, el camino hacia un desarrollo sostenible enfrenta cuatro desafíos principales para las sociedades del siglo XXI: acceso universal a la energía, la seguridad energética y la reducción de los impactos del cambio climático sobre la salud y sobre el medio ambiente (Riahi, McCollum, & Krey, 2012) (REN21, 2017). Como respuesta a dichos desafíos, la transición energética se presenta como la oportunidad para generar cambios estructurales fundamentales en el sector energético en un país o región, mediante el incremento del uso de energías de fuentes renovables y la promoción de la eficiencia energética, combinadas con la eliminación gradual de las energías fósiles (WEC, 2014). Estos cambios implican mayor inversión en tecnologías bajas en carbono, por lo cual, la reducción de costos en los próximos años será un impulso importante para el aumento

de la inversión, además de permitir el crecimiento económico y crear nuevas fuentes de empleo (IEA & IRENA, 2017).

Aunque estos cambios se generan a nivel mundial, sí se presentan diferencias en términos de motivación y objetivos e impulsores y gobernanza, y se proporciona un conjunto diverso de desafíos y oportunidades (WEC, 2014). Debido a esto, existen muchas posibles vías futuras para la industria de la energía, pero para el Consejo Mundial de Energía (WEC, por sus siglas en inglés) es probable que estas vías conduzcan a uno de dos tipos de futuros radicalmente diferentes: las *uplands* o tierras altas, y las *lowlands* o tierras bajas. En las *uplands*, el crecimiento económico sostenible y la productividad son fuertes y los problemas ambientales se abordan en el contexto de un marco internacional de colaboración. Por el contrario, las lowlands se caracterizan por un crecimiento económico débil, una atención inadecuada al cambio climático y un enfoque de política más orientado a los países (WEC, 2016).

Por un lado, con base en estos dos caminos, el Consejo Mundial de la Energía plantea tres escenarios que ayudarán a esclarecer los desafíos que enfrentan los líderes del sector energético. Los dos primeros escenarios, *Modern Jazz* y *Unfinished Symphony*, exploran las *uplands* de la Gran Transición, con la diferencia de que el primero emplea herramientas de acción dirigidas al mercado y el segundo a políticas estatales. Además, el tipo y la aplicación de las tecnologías son los principales diferenciadores en todos los escenarios: las tecnologías que maximizan la comodidad y los beneficios para las personas contrastan con las aplicaciones a gran escala para el uso y suministro de bienes públicos. Por otra parte, el tercer escenario, *Hard Rock*, explora las *lowlands*, de crecimiento e inversión económica débil. Al explorar las decisiones complejas del sector, los tres escenarios proporcionan a los líderes energéticos un marco abierto, transparente e inclusivo para pensar en un futuro, que aun así es incierto (WEC, 2016).

Por otro lado, el IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) ha planteado los *GEA pathways*, con el fin de hacer una descripción, cuantitativa y cualitativa, de las transformaciones requeridas para ir en dirección de un futuro en el que el sector energético se alinee con el desarrollo sostenible, de manera que permitan la identificación de políticas y medidas para tal fin. Estos caminos pueden interpretarse como alternativas que describen cambios en la oferta y demanda de energía, en un escenario global en el que el sistema energético se transforma bajo objetivos normativos y sostenibles. Estas rutas comparten cambios en aspectos económicos y demográficos, pero se diferencian, fundamentalmente, en las suposiciones acerca del alcance de las políticas que buscan mejorar la eficiencia, desde la demanda, conduciendo a rutas de demanda baja (*GEA-Efficiency*), de demanda intermedia (*GEA-Mix*) y de alta demanda (*GEA-Supply*). La ruta de *GEA-Efficiency* muestra la mayor flexibilidad de la oferta del sistema de energía, mientras que *GEA-Supply* es más flexible por el lado de la demanda, lo que requiere una introducción mucho menos generalizada de medidas de eficiencia. En cuanto a *GEA-Mix*, el énfasis radica en la diversidad de suministro de energía, para mejorar la resistencia del sistema frente a fallas tecnológicas. Esto implica que la ruta *GEA-Mix* no es intermedia a las otras dos rutas, en términos de características sobresalientes del escenario como la cartera de políticas requerida, costos, opciones de combustible o despliegue de tecnologías individuales.

De estos análisis prospectivos, se han obtenido hallazgos que complementan el planteamiento de los escenarios, y que también orientan la toma de decisiones en torno a la transición energética, haciendo énfasis en la mejora continua y sostenida de la eficiencia energética, como medio para alcanzar los objetivos energéticos. Por ejemplo, se sugiere que para hacer frente a esos desafíos, se debe cubrir al menos entre 60-80% de la energía primaria con cuotas de carbón bajas para el 2050, lo cual requiere fortalecer la participación de fuentes renovables y de la bioenergía, así como otros aspectos relacionados, como las tecnologías de almacenamiento y transmisión de la energía, y la necesidad de mayores inversiones económicas (Riahi, McCollum, & Krey, 2012).

Bajo este panorama, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables se ha convertido en un asunto crítico para mitigar los efectos del cambio climático. Esto se ha visto reflejado en el aumento de la producción de energía a través de fuentes renovables por todo el mundo, ya que según el reporte de la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2016 la nueva capacidad de energía solar fotovoltaica a nivel mundial creció en un 50%, llegando a más de 54 GW. Este mismo año la capacidad eólica conectada a la red alcanzó los 466 GW, llegando a representar casi el 4% de la electricidad global (OCDE & IEA, 2017).

En este contexto, los líderes se enfrentan a decisiones importantes en medio de gran incertidumbre política, financiera, tecnológica y social, sobre el futuro de la energía, por lo que las decisiones tomadas en los próximos años, en respuesta a estas y otras implicaciones, tendrán profundos efectos en el desarrollo del sector energético en las próximas décadas. En este sentido, los diferentes resultados en los tres escenarios brindan a los líderes señales a corto plazo, las cuales tienen un alto valor para el desarrollo sólido de estrategias empresariales a mediano y largo plazo, políticas gubernamentales, y decisiones de inversión. A partir de estos escenarios también se pueden evaluar las consecuencias de las políticas de cambio climático, y la solidez de las carteras para inversiones en infraestructura a gran escala, como plantas de energía hasta el año 2060. Esto proporciona una idea de alto impacto sobre las siguientes áreas de acción:

- Reevaluar asignaciones de capital y estrategias
- Geografías objetivo y nuevos mercados en crecimiento
- Implementar nuevos modelos de negocios que expandan la cadena de valor de la energía y exploten la disrupción
- Desarrollar políticas de descarbonización
- Abordar las implicaciones socioeconómicas de las políticas de cambio climático

2.2. El rol fundamental de las tecnologías 4.0 en la transición energética

Con el rápido desarrollo de las tecnologías electrónicas y eléctricas, las tecnologías de información y las tecnologías de manufactura avanzada, una nueva era industrial se avecina. La industria 4.0 hace referencia al uso de estas tecnologías para la automatización de los procesos ofreciendo un gran número de ventajas, como la comunicación autónoma entre dispositivos a lo largo de la cadena de valor (Koster, 2018), la posibilidad de analizar grandes cantidades de datos de manera más rápida, flexible y eficiente, así como procesos de manufactura que generen productos con mayores estándares de calidad. Hasta el momento se cuenta con nueve tendencias tecnológicas, que conformarían el bloque de construcción de la Industria 4.0: Simulación, Sistemas de integración horizontal y vertical, Inteligencia Artificial, Ciberseguridad, Big Data, Internet de las Cosas, Blockchain, Impresión 3D y Robótica (Scalabre, 2018).

Las tendencias del sector energético muestran que las tecnologías 4.0 constituyen una oportunidad para un sector que se encuentra en transición a nivel mundial, con la integración las fuentes renovables, sistemas de transporte en corriente directa (DC), almacenamiento de energía, generación distribuida, sistemas de medición y redes inteligentes y la participación de los usuarios finales de energía, como nuevos actores en el mercado. Esta situación presenta nuevos requerimientos y condiciones para el desarrollo e integración con las nuevas tecnologías, relacionadas con el procesamiento de grandes volúmenes de información, la participación activa de los usuarios finales, la agilidad en las transacciones de los actores de mercado, así como en la descentralización de los negocios y evolución de los mismos frente a los modelos tradicionales.

En relación con esto, Christian Grant y John McCue (2016), consultores de tecnología en el sector de la energía en los Estados Unidos, presentan una categorización actual de estos requerimientos y las expectativas de cada componente:

- La interoperabilidad como un factor en la comunicación entre redes abiertas y participación de diferentes actores de manera remota.
- La virtualización como capacidad de monitorear procesos físicos o simulados, debe dar respuesta oportuna para la intervención de la respuesta humana o la toma de decisiones a través de algoritmos basados en inteligencia artificial.
- La descentralización como la autonomía de gestión para evitar una infraestructura vertical.
- La modularidad con elementos que no deben afectar el proceso general cuando se implementen aspectos como la actualización, el mantenimiento o el cambio parcial.
- La captación en tiempo real con posibilidad de sensar, medir y pronosticar diferentes datos que surgen de procesos industriales, por lo que la captación y análisis de estos datos en tiempo real puede llegar a prevenir futuras fallas, permitir la aplicación de algoritmos de respuesta o un monitoreo general.

2.3. ¿Qué significa la transición energética para Colombia?

Colombia se caracteriza por tener bajos consumos de energía y bajas emisiones, pero cuenta con una economía basada en la extracción de materias primas con poco valor agregado, en donde el petróleo y sus derivados, así como el carbón, representan una importante participación en la matriz energética. Por otra parte, se observa una intensidad energética con tendencia a la mejora (Consumo final de Energía/ PIB), con fuerte participación del sector financiero y minero en el Producto Interno Bruto (PIB), y un sector productivo conformado en su gran mayoría por industria pequeña y mediana (PyME).

En relación con esto, la matriz energética empieza a diversificarse. La matriz eléctrica específicamente se destaca por sus bajos efectos sobre el medio ambiente, al tener una alta participación de la hidroelectricidad, en un sistema interconectado soportado por un modelo tecnológico robusto en la generación de energía, y un mercado en desarrollo, con prioridad en la oferta. En este escenario, la transición energética ha logrado un alto nivel de importancia en el país, con expectativas de crecimiento, desarrollo económico y social, sustentado en políticas orientadas al abastecimiento, uso eficiente y sostenible de la energía.

Muestra de este interés es la firma del acuerdo de Paris, mediante el cual Colombia se compromete con la "visión a largo plazo sobre la importancia de hacer plenamente efectivos el desarrollo y la transferencia de tecnología para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero" (UFCCC, 2015). De esta manera, el país adopta como meta unilateral e incondicionada, el compromiso de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030 (García Arbeláez, Vallejo López, Higgings, & Escobar, 2016).

El marco político nacional cuenta con la Ley 1715 de 2014 y el Plan Energético Nacional 2050, que articulan los aspectos de planeación a largo plazo para alcanzar los objetivos energéticos, mediante la integración del sistema energético nacional con las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). Este marco representa implícitamente la transición de un modelo robusto e interconectado en un esquema de mercado regulado y con una planeación indicativa, en donde la oferta se privilegia sobre la demanda en energía eléctrica y gas, hacia un modelo que implica fuentes renovables y limpias, como las reconocidas por la normatividad colombiana. El cambio supone entrar en un escenario de capacidad

variada (generación distribuida, autogeneración, gran escala) y con participación activa de la demanda (eficiencia energética, consumidores, prosumidores, gestión de la demanda). La Ilustración 1 esquematiza los elementos contenidos en la norma 1715 incluyendo los actores involucrados y los mecanismos para la promoción de las FNCER y la gestión eficiente de la energía.

Igualmente, el documento CONPES 3934 de julio de 2018, Política de Crecimiento Verde, incluye tres líneas de acción para promover condiciones que favorezcan la adopción de tecnologías para la gestión eficiente de la energía y la movilidad sostenible:

- Línea de acción 25. Promover la gestión eficiente de la demanda en el mercado de energía
- Línea de acción 26. Desarrollar estrategias para el fortalecimiento institucional y la gestión de la información en el sector energético
- Línea de acción 27. Desarrollar un programa nacional de electrificación para el transporte

Además de complementar algunos aspectos mencionados en la ley 1715, el CONPES involucra nuevos elementos relacionados con la transición energética tales como un mapa de ruta para la implementación de una infraestructura de medición avanzada, la dinamización de la agenda regulatoria y la creación de un programa de movilidad eléctrica para Colombia. De igual manera, el documento incluye la creación del observatorio de energía a cargo de la UPME y el aseguramiento de su operación a partir del 2022.

Ilustración 1. Elementos normativos planteados por la Ley 1715.

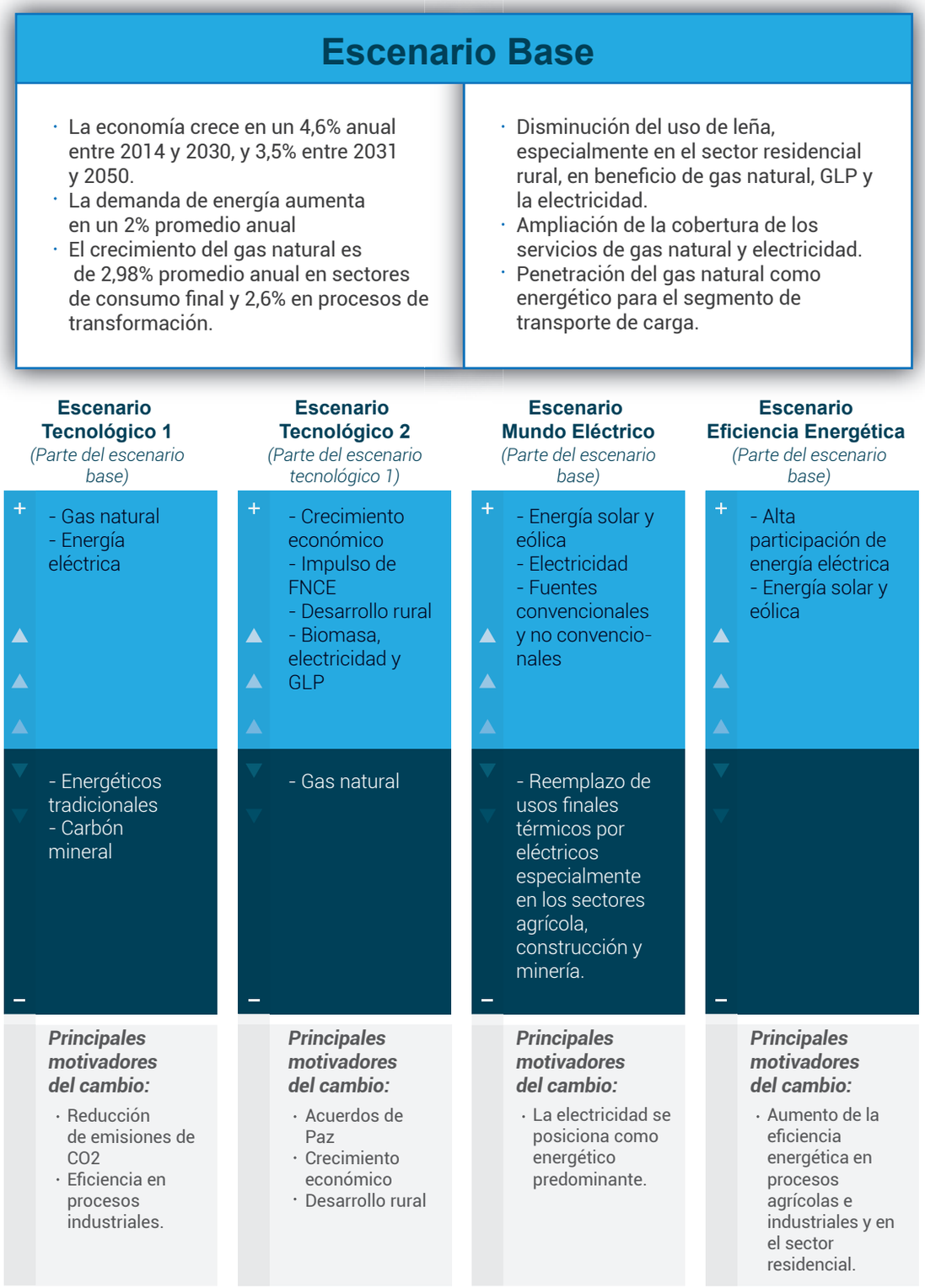
Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar las grandes ventajas que presenta el país, como su posición geográfica, la variedad de climas y la mega-diversidad, que representan un alto potencial para el desarrollo de energías renovables, lo que hace necesario, ante la inestabilidad climática, que el país transite hacia las energías renovables. De acuerdo con el Plan Energético Nacional, PEN 2050, las energías solar y eólica en Colombia tienen una participación marginal en la canasta de generación eléctrica […], ante esta situación la ley 1715 de 2014 busca promover la inclusión de este tipo de tecnologías (UPME, 2014). Evidencia de esto son los proyectos registrados a febrero de 2018, por un total de 2.075 MW para generación eólica y 3.755 MW para generación solar fotovoltaica (Sistema de Información Eléctrico Colombiano, 2018).

Con base en lo anterior, el Plan Energético Nacional (PEN) 2050 presenta una serie de escenarios de composición de canasta energética para el año 2050, que incorporan de manera separada los diferentes cambios técnicos que se pueden esperar según las tendencias del sector. Se describen así, cinco escenarios diferentes, con base en variables económicas, de consumo y demanda de energía (UPME, 2015).

En primer lugar, se establece un escenario base que supone una demanda de energéticos con tasas de crecimiento similares a las de los últimos años. Bajo este planteamiento, se esperaría que la canasta energética para el año 2050 mantenga una estructura de participación similar a la del año 2010. Por otro lado, se presentan cuatro escenarios alternativos, cuyas características se presentan en la Ilustración 2.

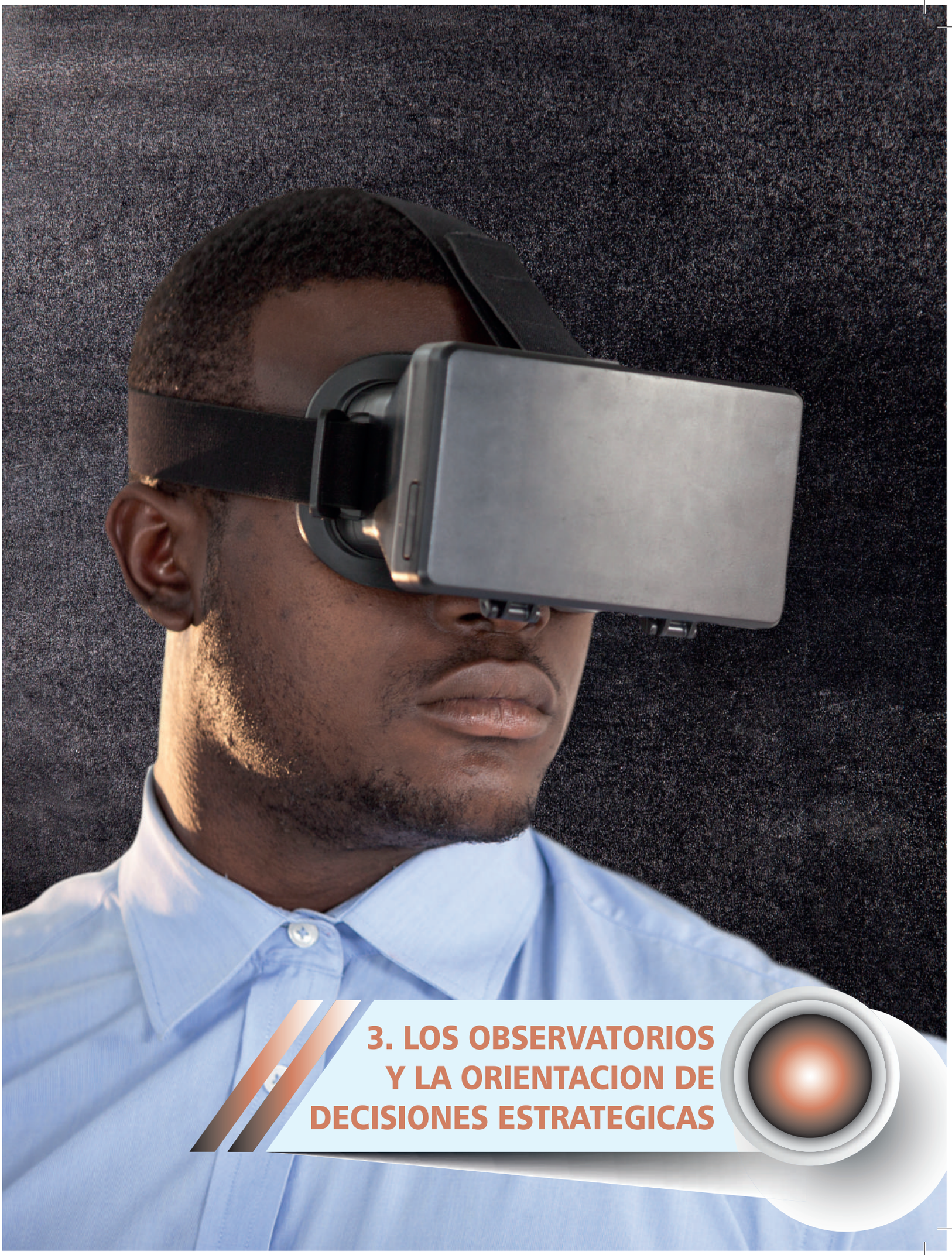
Ilustración 2. Escenarios energéticos a 2050 de acuerdo con el PEN 2050



Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la transición energética para Colombia representa una respuesta a los cambios del entorno que se vienen suscitando desde el modelo global, que implican el aprovechamiento de los potenciales

energéticos renovables disponibles, la experiencia en el desarrollo del sector energético desde la planeación, la regulación de los mercados y la supervisión, entre otros aspectos. Por lo anterior, es una oportunidad para integrar nuevos elementos de competitividad y desarrollo, que permitan al país mantener una posición destacada en el sector energético, dentro del contexto latinoamericano. Es así como el Observatorio de Energía se visualiza como agente promotor e impulsor de cambio, aportando desde el análisis de información y el desarrollo de nuevos conocimientos, a la construcción de un nuevo modelo energético para Colombia.



3. LOS OBSERVATORIOS Y LA ORIENTACION DE DECISIONES ESTRATEGICAS

3

LOS OBSERVATORIOS Y LA ORIENTACION DE DECISIONES ESTRATEGICAS

Los observatorios en distintas áreas del conocimiento se han posicionado, en las últimas décadas, como organismos de apoyo al monitoreo de la información. El concepto de observatorio se deriva de la etimología latina *observare* que se asocia con el estudio atento de una temática, o el advertir o hacer notar fenómenos específicos. El observatorio como organización se desarrolló inicialmente en el campo de la astronomía, y el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española lo define como un "Lugar o posición que sirve para hacer observaciones" o el "Conjunto del personal que, en instalaciones adecuadas y con los instrumentos apropiados, se dedica a observaciones, principalmente astronómicas o meteorológicas".

Con el avance de la ciencia y los centros de investigación, el término ha trascendido las disciplinas de la astronomía y la meteorología, y actualmente se aplica a todo tipo de sectores y ciencias. Sin embargo, su significado puede variar dependiendo del área de aplicación, los intereses de sus propietarios, y las características de la información observada.

En el presente capítulo se identifican los conceptos centrales de un observatorio y se estudian diferentes ejemplos para establecer los elementos más importantes aplicables al Observatorio de Energía para Colombia (OEC). Adicionalmente, se revisan casos representativos de observatorios de energía en el ámbito mundial, profundizando en tres casos que ejemplifican diferentes visiones de un observatorio. Finalmente, se estudian los casos de tres observatorios nacionales en otras áreas del conocimiento, de los cuales se extraen algunos elementos orientados principalmente a la sostenibilidad y organización del OEC.

La revisión realizada permitió visualizar que en general los observatorios buscan brindar confiabilidad, credibilidad, independencia y transparencia en la obtención y procesamiento de la información y permiten sustentar la toma de decisiones en información fiable. Generalmente son operados por organizaciones o instituciones con un interés especial en el tema estudiado, tal como universidades, institutos de investigación, organismos públicos, agrupaciones gremiales, organismos internacionales y organizaciones sociales.

Adicionalmente, se encargan de transformar datos en observaciones e información permitiendo conservar una visión global del fenómeno observado y orientar la toma de decisiones.

De otra parte, el análisis de observatorios nacionales evidenció diferentes enfoques de configuraciones organizacionales y financieras, involucrando tanto el sector público como privado, que fueron ponderadas para el establecimiento de la propuesta final del Observatorio de Energía para Colombia.

Tomando como base estas ideas generales, así como las necesidades, retos y desafíos en aspectos energéticos que enfrenta el mundo y el país, se desarrolla una propuesta de Observatorio de Energía para Colombia, la cual se expone de manera detallada en el siguiente capítulo.

3.1. ¿Qué es un Observatorio?

Aunque no existe una aproximación unificada sobre el alcance y concepto de un observatorio, en general se identifican como objetivos y principios mínimos el monitoreo, análisis y proyección de datos que ayuden a la producción de un conocimiento en específico, cualquiera que sea el área o sector de la sociedad en que se aplique.

Una revisión inicial de la temática permite identificar cinco enfoques distintos de la manera en que se aplica el concepto. Las tres primeras aproximaciones se adoptan de (Husillos, 2006) y los modelos cuatro y cinco corresponden a los conceptos de *Think Tank* y observatorio en el ámbito de *Big Science*.

A continuación, se explican brevemente cada uno de estos enfoques:

Observatorio como centro de documentación: Corresponde al concepto más simple de un observatorio. Desde esta óptica, es una biblioteca dedicada a una temática específica y, su misión se basa en almacenar y clasificar información y documentación.

Observatorio como centro de análisis de datos: El observatorio se considera como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones. Su misión principal es: a) recoger, procesar y proporcionar información, y b) conocer mejor y comprender la temática en cuestión mediante estudios con la participación de expertos.

Observatorio como espacio amplio de información, de intercambio y de colaboración: Corresponde al concepto actual de observatorio, puesto que se adapta a las ventajas de las tecnologías de la información y la comunicación., y su misión es: a) recopilar, tratar y difundir la información, b) conocer mejor la temática en cuestión, y c) promover la reflexión y el intercambio del conocimiento en red.

Observatorio como centro de pensamiento o *Think Tank*: Los *Think Tanks* son conceptualizados desde diferentes perspectivas y bajo esa denominación podemos agrupar a multitud de organizaciones sociales que planifican, realizan y ejecutan investigaciones sobre determinadas temáticas para proponer propuestas de actuación política (Castillo, 2009).

Observatorio en el ámbito de la *Big Science*: El término big science se refiere al modelo científico que comenzó a desarrollarse luego de la segunda guerra mundial, donde se iniciaron investigaciones de gran escala llevadas a cabo por grandes equipos de especialistas bajo la financiación de entidades gubernamentales u otros tipos de entidades aportantes de recursos (Kukso, 2010). En este contexto los

observatorios cumplen el papel de identificar brechas de conocimiento y vincular los descubrimientos individuales con modelos disciplinarios aplicables al contexto social (Torgersen, 2016).

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los elementos comunes y diferenciadores encontrados en los distintos tipos de observatorio identificados.

Tabla 1. Elementos comunes y diferenciadores de los Tipos de Observatorios

Elementos comunes	Elementos diferenciadores
• Enfoque en un área específica de observación. • Establecimiento de metodologías y productos específicos. • Buscan brindar confiabilidad, credibilidad, independencia y transparencia en la obtención y procesamiento de la información presentada. • Generalmente son operados por organizaciones o instituciones con un interés especial en el tema estudiado. • Se encargan de transformar datos en información. • Permiten sintetizar volúmenes amplios de información alrededor de la temática observada.	• Además de procesar información, pueden apoyar la toma de decisiones y promover la generación de comunidades en torno a la temática observada. • Pueden tener un carácter neutral frente a la temática o establecer una posición crítica. • En algunos casos, apoyan el desarrollo de políticas públicas. • En algunos casos, buscan extender el conocimiento o cultura sobre el tema tratado. • Pueden tener información pública o información restringida a miembros. • El término puede asociarse bien sea a documentos seriados, pasando por páginas web y programas académicos, hasta instituciones independientes. • Algunos observatorios buscan trabajar en red con otros observatorios o con otras instituciones. • Tienen naturaleza diversa, desde unidades del estado o de una empresa privada, hasta instituciones independientes.

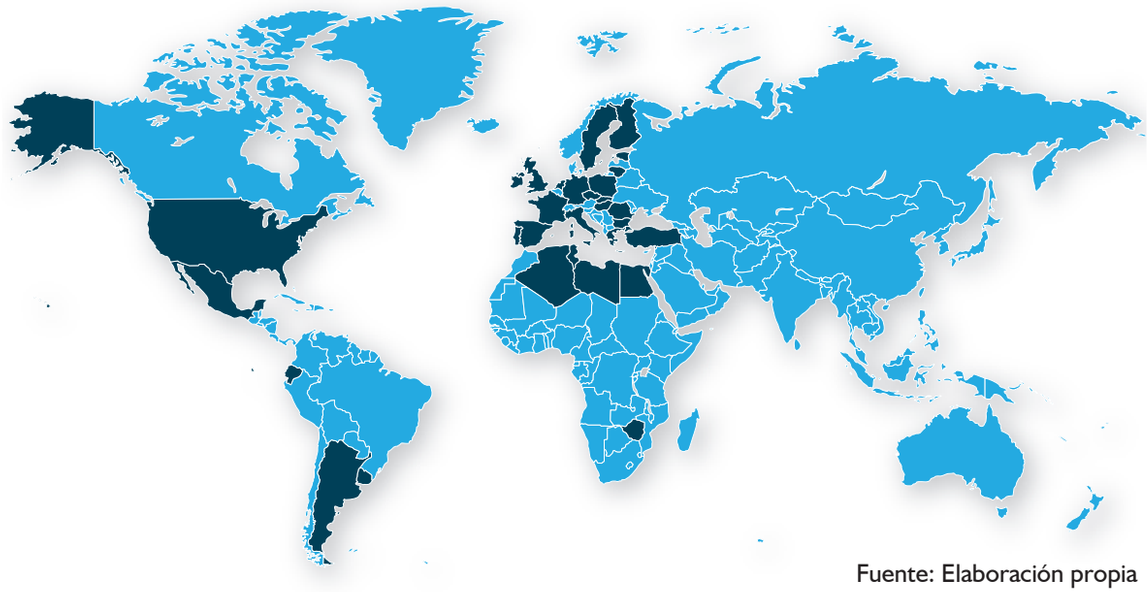
Fuente: Elaboración propia

3.2. Observatorios de Energía en el mundo

Tener un panorama, tanto mundial como nacional, en torno a la dinámica de observatorios energéticos y de otros tipos, es primordial para lograr unas bases sólidas que hagan más fácil establecer una entidad de esta naturaleza en Colombia.

Como primer referente, se realiza una revisión de observatorios enfocados en el área energética a nivel global. En total se incluyeron 17 observatorios; 8 de los cuales se ubican en Latinoamérica, 8 en Europa (Incluyendo el caso de Energy Watch que recibe información de 12 observatorios energéticos, que no se analizaron individualmente) y uno se ubica en Estados Unidos, pero maneja información de nivel mundial (Global Energy Observatory), ver Ilustración 3 y Tabla 2.

Ilustración 3. Localización de los Observatorios de Energía estudiados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Observatorios de Energía estudiados

País/Región	Observatorio	Institución a la que se circunscribe
Argentina	Observatorio de Energía y Producción	Universidad Nacional del Cujo
Argentina	Observatorio de Energía	IDES- Instituto para el Desarrollo Energético Sustentable
Argentina	OETEC - Observatorio de Energía, Tecnología e Infraestructura para el Desarrollo	N/A
Ecuador	Observatorio de Energía y Minas (OEM)	Universidad de las Américas - Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas (FACEA)
España	Observatorio de Energía y Sostenibilidad	Universidad Comillas Malipu
España	Observatorio Crítico de la Energía	Profesionales independientes.
España	Observatorio de energía fundación REPSOL	Fundación REPSOL
Europa	Insight-E Observatory	Consorcio de doce entidades energéticas de diez países europeos.
Europa	European Energy Poverty Observatory (EPOV)	Consorcio de seis entidades Europeas: University of Manchester, Ecofys, European Policy Centre, Intrasoft International, National Energy Action, Wuppertal Institute, apoyadas por otras instituciones

País/Región	Observatorio	Institución a la que se circunscribe
Europa mediterránea	Observatoire Mediterren de l'Energie (OME)	Reúne empresas del sector energético de 16 países.
Italia	Ref – E	Empresa independiente, privada.
Latinoamérica	Observatorio del principio 10 (de la declaración de río)	CEPAL
México	Observatorio Ciudadano de Energía	Profesionales independientes.
México	Observatorio de Inteligencia del Sector Energético (OISE)	Smart Data Intelligence, apoyado por patrocinadores y afiliados.
Mundial	Global Energy Observatory (GEO)	Iniciativa de especialistas vinculados a universidades
Unión Europea	Observatorio regional de energía	Data For Action, Red Europea Energee-watch
Uruguay	Observatorio de Energía y Desarrollo Sustentable	Universidad Católica de Uruguay

Fuente: Elaboración propia

Para entender más a fondo la estructura organizacional y dinámica de los observatorios de energía, se describen brevemente tres casos que ejemplifican diferentes modelos de observatorio, presentan una participación de actores variados y han tenido impactos visibles dentro de sus áreas geográficas de influencia.

Observatorio de Inteligencia del Sector Energético-OISE (México)

Es un observatorio de tipo privado, que pertenece a la empresa *Smart Intelligence*. Su principal función es la recolección, análisis y difusión de información del Sector Energético en México. Tiene como fin ofrecer, acercar y generar conocimiento con valor agregado para empresas y organizaciones públicas y privadas del Sector Energético, facilitando la toma de decisiones y optimizando el aprovechamiento de energía sustentable y convencional en beneficio de los diversos sectores de la sociedad. Uno de sus objetivos más importantes es mantener en el radar los temas, actores e indicadores más relevantes del Sector Energético en México para ofrecer información actualizada y precisa (Smart Intelligence, 2017). La información es presentada por medio de diversas herramientas, como artículos, mapas interactivos, gráficos estadísticos, entre otros en el portal web de la entidad.

Insight-E (Consorcio con entidades de 10 países europeos)

INSIGHT_E es un observatorio coordinado por el *Royal Institute of Technology* (KTH), con participación de universidades, empresas de consultoría, *think tanks* y centros de I+D+i. El observatorio tiene un vínculo directo con la comisión europea a través del KTH. Organizacionalmente, se estableció a través de un consorcio que cubre una amplia gama de disciplinas desde economía y derecho hasta ciencias ambientales, física e ingeniería. Los compromisos del observatorio están basados en un análisis "sensato y sin sesgos, pensamiento progresivo y reactivo, la transparencia y la inclusividad" (Insight_E Observatory, 2017). Su alcance se enmarca en realizar publicaciones sobre política energética, en temas de Infraestructura Energética, Nuevas Tecnologías e Innovación Energética, Análisis Económico, de Mercado y Regulatorio, Geopolítica y Comercio, Impactos Climáticos y Ambientales, y cambios sociales y de comportamiento.

Observatoire Mediterren de l'Energie (OME) – Europa Mediterranea

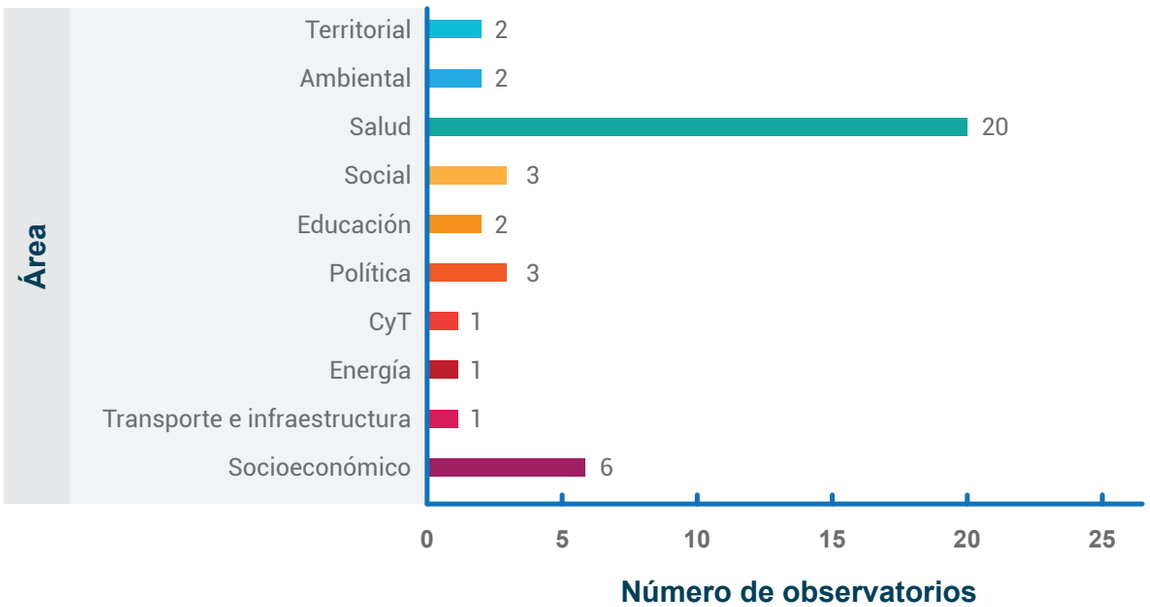
Este Observatorio sigue la metodología del *Think Tanks* por medio del diálogo en cuatro comités (Transición energética, sostenibilidad y cambio climático; Hidrocarburos y Seguridad Energética; Necesidades de inversiones y Financiamiento de infraestructura y el Comité de Estrategia y Cooperación Internacional) cuyos miembros son las principales compañías en temas energéticos, de dieciséis países del Mediterráneo. También se discuten temas de Plataforma de gas; Plataforma Regional del Mercado Eléctrico; Plataforma de Energía Renovable y Eficiencia Energética; Mediterranean Energy Perspectives-MEP y una conferencia anual del observatorio (OME, 2017). Igualmente, el Observatorio realiza conferencias y eventos en distintos países para discutir las investigaciones con los socios de la organización y actores del sector energético en el Mediterráneo. Adicionalmente, realiza actividades de capacitación mediante el programa ENERMED, instruidos por expertos y diseñado para las empresas y actores interesados, especialmente en las áreas de ingeniería, economía, análisis de energía y políticas de los sectores públicos y privados.

3.3. Observatorios en Colombia

Como insumo adicional en el diseño del OEC, se realizó una búsqueda y análisis de observatorios nacionales en diferentes disciplinas. En total se identificaron 41 observatorios en áreas como salud, medio ambiente, sociedad, economía y política. Cabe destacar que anteriormente el país contaba con un observatorio de energía a cargo de la Universidad Nacional que actualmente se encuentra inactivo. El caso específico de este observatorio fue recopilado y se describe como parte de los casos seleccionados para profundización.

En la Ilustración 4 se muestra que el 49% de los observatorios identificados se concentran en el área de salud, el 15% en temas socioeconómicos, el 14% en temas sociales y política, el 15% en temas territoriales, ambientales y el 3% restante en Ciencia y Tecnología, Transporte e Infraestructura.

Ilustración 4. Clasificación de los observatorios nacionales por área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el 58,54% de los observatorios pertenecen al sector público, el 29,27% a alguna entidad educativa, el 7,32% al sector privado y un 2,44% tienen naturaleza mixta (ver Tabla 3).

Tabla 3. Sector al que se circunscriben los observatorios.

Sector	Total
Académico	12
Independiente	1
Mixto	1
Sector privado	3
Sector público	24
TOTAL	41

Fuente: Elaboración propia

De forma similar al caso internacional, se seleccionaron 3 casos de los observatorios identificados, para profundizar en sus características fundamentales. El estudio de cada uno de estos casos partió de la observación de información secundaria y se complementó con entrevistas a los directores de los observatorios.

- Observatorio Nacional de Salud.
- Observatorio de conflictos ambientales.
- Observatorio de Energía.

Observatorio Nacional de Salud- ONS

El Observatorio Nacional de Salud (ONS) es una dependencia del Instituto Nacional de Salud (INS), el cual se constituye como un instituto científico y técnico cuyo objeto es "el desarrollo y la gestión del conocimiento científico en salud y biomedicina, para contribuir a mejorar las condiciones de salud de las personas" (Decreto 4109, 2011). El propósito del ONS es proveer información relevante y actualizada sobre el estado de salud de la población colombiana y sus determinantes, para el desarrollo de políticas de salud basadas en la evidencia que contribuyan a la preservación y el mantenimiento de la salud de la población en el marco de la legislación colombiana.

El ONS centra su trabajo en el desarrollo de una publicación anual que involucra un amplio procesamiento de datos con herramientas estadísticas. La temática abordada varía año a año y responde a una planeación de largo plazo de la institución centrada en aspectos de interés nacional en el área de salud. Adicionalmente, realiza trabajos y publicaciones sobre temáticas que resulten prioritarias para la salud pública ante circunstancias específicas del país. El observatorio cuenta con una planta de personal pequeña principalmente con especialistas del área de salud. Al encontrarse adscrito al gobierno nacional, cuenta con un presupuesto fijo que se complementa con acceso a presupuesto de inversión a través del DNP. El presupuesto fijo facilita la sostenibilidad administrativa del observatorio sin embargo el pleno desarrollo de sus tareas ha requerido realizar alianzas o buscar medios alternativos para la financiación de actividades.

Observatorio de conflictos ambientales.

El Observatorio de Conflictos Ambientales (OCA), empezó a gestarse en el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia en el año 2014. Se creó bajo la finalidad de recopilar, sistematizar, analizar y visibilizar información sobre los conflictos, como un aporte para generar espacios de diálogo, de investigación y docencia. Se establece mediante 3 premisas de funcionamiento y visión: ambiente, territorialidad y territorio.

El observatorio tiene como accionar el análisis académico y estudio del medio ambiente, así como del conocimiento generado por estos resultados. Para el cumplimiento de sus objetivos principales desarrolla las actividades de:

- Recopilar, sistematizar y analizar información sobre conflictos ambientales.
- Caracterizar el contexto de los conflictos desde la perspectiva ambiental (relaciones ecosistema-cultura).
- Visibilizar y especializar los conflictos ambientales analizados.
- Generar espacios académicos para la investigación, profundización, docencia y extensión sobre conflictos ambientales.
- Socializar con distintos actores y por diferentes medios las principales reflexiones, planteamientos y propuestas derivadas del Observatorio.
- Construir y promover el uso de herramientas y metodologías de evaluación y seguimiento a los conflictos, para ser utilizadas por las comunidades afectadas y por los diferentes actores interesados.

Observatorio Colombiano de Energía- Universidad Nacional.

El Observatorio Colombiano de Energía de la Universidad Nacional de Colombia se creó en el año 2000 bajo la dirección del Centro de Investigación para Desarrollo (CID). Ha tenido un funcionamiento intermitente y actualmente se encuentra inactivo. El objetivo principal del observatorio era realizar un seguimiento de la coyuntura minero – energética en el país y el mundo, con el fin de estudiar los nuevos modelos de intervención del estado en los mercados energéticos de otros países sirviendo de ejemplo para la política económica colombiana. Las líneas temáticas de estudio fueron: regulación energética, electricidad, gas natural, carbón, políticas energéticas y modelación de mercados energéticos. La principal actividad del Observatorio se centró en la publicación de boletines trimestrales y recolección de artículos de temas energéticos al igual que consultorías.

El observatorio perdió el apoyo económico por parte de la facultad y del CID, lo que impacto negativamente en su sostenibilidad, por lo que, aunque sigue visible en la página del CID, hace más de 6 años que no genera contenido.

4. EL OBSERVATORIO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

4

EL OBSERVATORIO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

La pertinencia de consolidar un observatorio de energía para Colombia ha sido subrayada por varios estudios recientes del sector. La asociación nacional de empresas de servicios públicos y comunicaciones, ANDESCO, planteó en el 2014 la creación de un centro de pensamiento sobre energía, servicios públicos y TIC, con características similares a un observatorio. Dentro de sus objetivos, el centro planteaba 'Investigar, debatir e informar sobre tendencias en políticas públicas y sociales, marco institucional y regulatorio, mercados, nuevas tecnologías, medio ambiente y sostenibilidad', en los sectores de energía eléctrica y gas entre otros. Además planteaba 'Contribuir a la difusión del conocimiento sobre los cambios más relevantes que afectan a los sectores de interés en el mundo y sus impactos en estos sectores en el país y la región' (ANDESCO, 2014).

En el 2017, en estudios desarrollados para la UPME, el CIDET identificó la necesidad de un Observatorio de Energía que permitiera la convergencia de la información del sector energético donde, por medio de vigilancia tecnológica y seguimiento, se aportara a una constante actualización de los objetivos del ideario 2050 (CIDET-IEB, 2015). Esto implicaba determinar, actualizar y proponer escenarios energéticos ajustados a la dinámica real del país en el camino al 2050 que enmarcaran las políticas y metas sobre la producción y el suministro de energía.

Dentro de esta dinámica, el Observatorio de Energía se visualizó como parte de un mecanismo que permitiera el empoderamiento de la información y transferencia de conocimiento, orientado al cumplimiento de los escenarios energéticos del país, donde su dinámica a largo plazo permitiera la inclusión de otras entidades como centros de desarrollo tecnológico, gremios, industria, etc.

Adicionalmente, la misión de crecimiento verde, desarrollada durante el 2018 bajo liderazgo del DNP, otorga un papel activo al observatorio de energía. Dicha misión, busca definir los insumos y lineamientos de política pública para orientar el desarrollo económico del país hacia el crecimiento verde en el 2030 y está orientada al desarrollo de una política CONPES. El aspecto energético representa uno de los componentes abordados y el observatorio hace parte de los elementos sugeridos por la consultoría para la superación de barreras de tipo transversal (Estudio para la Misión de Crecimiento Verde en Colombia:

Estrategia y Acciones Recomendadas en Energía, 2018). La principal problemática que se propone solucionar a través de su creación es la falta de información para toma de decisiones y por ello, el papel estratégico del observatorio se centra en la gestión de información.

Teniendo en cuenta estos antecedentes y la revisión del estado del arte sobre observatorios en el ámbito nacional e internacional, se inició el diseñó del Observatorio de Energía para Colombia (OEC). Para fortalecer el enfoque, se desarrollaron talleres en cinco ciudades colombianas, con representantes de empresas y entidades del sector energético, expertos, representantes del sector productivo y académico, a nivel nacional. Igualmente, se aplicó encuestas virtuales a expertos profundizando en temas de interés. Posteriormente se realizó una evaluación y selección de la estructura organizacional, técnica y financiera del observatorio de energía, mediante el análisis de la estructura organizacional, jurídica, técnica y financiera de la UPME y entidades estatales del sector energético, así como de observatorios de energía existentes a nivel mundial.

Finalmente, se llevó a cabo el análisis de cinco propuestas de observatorios elaboradas por el equipo: entidad de tipo público (1) observatorio como una dependencia de la UPME (2), en asociación con otras entidades públicas (3), académico (4) y gremial (5). Con esta base, se seleccionó una propuesta de carácter mixto bajo la figura legal de una *Asociación civil de participación mixta y de carácter privado, sin ánimo de lucro y con patrimonio propio*, orientada en su misión, funciones y estructura hacia la conformación de unidades estratégicas a 'Política pública y planeación energética', 'Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva', 'Mercados energéticos y regulación' y 'Energía y desarrollo sostenible', conformando así una propuesta con lineamientos de estructura organizacional, jurídica, financiera, técnica, tecnológica e informática, para su consolidación e implementación.

De esta manera, el observatorio de energía propuesto corresponde a una asociación civil de patrimonio mixto, donde la UPME podría participar como socio fundador (junto a otras entidades del sector público) y donde participan diferentes entidades públicas y privadas a través de aportes financieros y en especie específicos. Se espera que los socios pertenezcan mayoritariamente al sector energético, con una participación complementaria de universidades con fortalezas en el área de energía y redes de conocimiento como soporte de I+D+i, las cuales pueden aportar recursos como: infraestructura, información, capacidades para desarrollar ejercicios de Vigilancia Tecnológica y prospectiva, además de realizar pasantías, capacitación, proyectos de grado y tesis de maestría y doctorado, entre otras oportunidades. Esto se puede realizar mediante convenios o actividades de extensión.

Además, la participación de estas entidades en la toma de decisiones del OEC se daría a través de la junta directiva, la cual podría estar presidida por la UPME. Bajo este modelo, el observatorio contaría con independencia en cuanto a contratación, funcionando bajo el derecho privado. Así como instalaciones propias para su funcionamiento, con personal contratado para su dirección y mantenimiento, que no pertenezcan a ninguna de las entidades miembro.

Los elementos constitutivos se profundizan en las siguientes secciones.

4.1. Elementos Estratégicos y Funcionales

Las actividades del observatorio se rigen por su misión, de la cual se desprenden cuatro ejes estratégicos con sus respectivas funciones. Estos elementos corresponden a la columna vertebral del OEC y de ella se definen su estructura organizacional, los mecanismos de funcionamiento y los medios de sostenimiento que se describen en secciones posteriores. La Ilustración 5 muestra la misión del observatorio y su relación con los ejes estratégicos.

Ilustración 5. Misión, Ejes estratégicos y funciones del Observatorio

Misión

El observatorio de energía se encarga de la búsqueda, seguimiento, análisis y difusión del conocimiento e información sobre tendencias e innovaciones a nivel mundial y nacional en torno a política pública y planeación energética, desarrollo sostenible del sector, vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, mercados energéticos y regulación como ejes estratégicos que inciden en los escenarios del ideario energético Colombia 2050, con el fin de evaluar el avance del cumplimiento de los objetivos propuestos, soportar la formulación de políticas y apoyar la toma de decisiones de las entidades del sector energético colombiano, las empresas y los usuarios finales.

Ejes Estratégicos	*Funciones*
1. Política pública y planeación energética Establecimiento de herramientas para el monitoreo de la efectividad de políticas públicas y planeación energética nacional.	· Evaluación y seguimiento de políticas y planes energéticos nacionales y mundiales. · Evaluación y seguimiento de la regulación energética. · Evaluación y seguimiento de pronósticos energéticos.
2. Vigilancia Tecnológica e inteligencia competitiva Evaluación de capacidades tecnológicas para atender a temas críticos de la planeación energética nacional	· Vigilancia Tecnológica en áreas estratégicas del Plan Energético Nacional.
3. Mercados Energéticos y regulación Monitorear variables del mercado energético nacional, modelos de mercado internacional, efectividad de los mecanismos de regulación, y modelos regulatorios internacionales adaptables al contexto colombiano.	· Recopilación y análisis comparativo de la información mundial de mercado energético.
4. Energía y Desarrollo Sostenible Seguimiento de variables ambientales y sociales relacionadas con la actividad del sector energético	· Definición y seguimiento de indicadores de tipo social, económico y medio ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Ejes estratégicos del OEC

Los ejes estratégicos del observatorio definen sus áreas de trabajo y las temáticas que serán cubiertas a través de sus productos. Corresponden a:

1. Política pública y planeación energética.

Este eje busca el establecimiento de herramientas para el monitoreo de la efectividad de políticas públicas y planeación energética nacional. El foco principal es el PEN 2050, sin embargo, se contemplan las leyes, decretos y resoluciones que proyecten beneficios a largo plazo, los planes del sector en los diferentes energéticos y sectores de uso final de energía y los diagnósticos energéticos de la UPME, entre otros documentos. El enfoque cubre también al ámbito internacional, dentro del cual se busca identificar modelos exitosos que permitan orientar la ruta colombiana hacia el cumplimiento de las metas energéticas de país.

2. Vigilancia Tecnológica e inteligencia competitiva.

Este eje se centra en la evaluación de capacidades tecnológicas para atender a temas críticos de la planeación energética nacional. El elemento de inteligencia competitiva busca traducir la información encontrada en los procesos de vigilancia en decisiones efectivas para el país. El alcance del observatorio llega hasta la generación de propuestas para los entes decisores, pero la adopción de recomendaciones depende de otros entes del sector público.

3. Mercados energéticos y regulación.

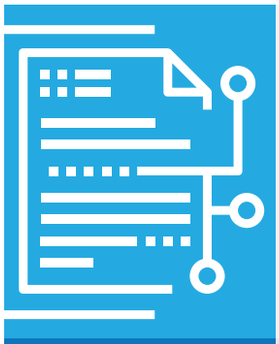
Bajo este eje se monitorean variables del mercado energético nacional a nivel de los diferentes energéticos (costos, tarifas, evolución etc.), modelos de mercado internacional, efectividad de los mecanismos de regulación, y modelos regulatorios del ámbito internacional adaptables al contexto colombiano.

4. Energía y Desarrollo Sostenible

Involucra el seguimiento de variables ambientales y sociales relacionadas con la actividad del sector energético. Busca ampliar el análisis de las variables que comúnmente se han cubierto del sector para relacionarlas con los impactos sobre los diferentes actores y comunidades de interés y la disponibilidad de recursos.

Para el cumplimiento de sus funciones el OEC debe desarrollar cinco actividades fundamentales: (i) Recolección de información, (ii) Vigilancia, (iii) Procesamiento y análisis de información, (iv) Difusión y (v) Soporte Tecnológico. Las tareas correspondientes a cada una de ellas se muestran en la Ilustración 6. Estos lineamientos sirven de soporte para estructurar las unidades organizacionales del observatorio.

Ilustración 6. Actividades fundamentales y tareas correspondientes



1. Recolección de información

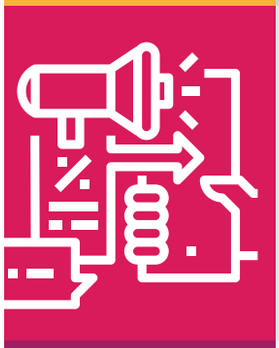
- Identificación de fuentes
- Gestión de información primaria y secundaria
- Definir e identificar entes que proporcionan la información
- Verificación y validación de la información
- Creación de bases de datos-Metadatos
- Recolectar información de la normatividad que reglamenta el sector y regula el mercado

2. Vigilancia

- Planear y definir los parámetros de vigilancia
- Monitorear el sector a nivel local e internacional
- Realizar estudios de vigilancia y prospectiva
- Vigilancia tecnológica en áreas estratégicas del Plan energético nacional
- Benchmarking - retroalimentación

3. Procesamiento y análisis de información

- Análisis de modelos y tendencias
- Diagnósticos del sector energético según los ejes estratégicos
- Seguimientos de impactos sociales
- Seguimiento de impactos ambientales
- Gestión de indicadores
- Evaluación de las políticas, planes, regulación, pronósticos y escenarios energéticos nacionales.
- Recopilación y análisis comparativos



4. Difusión

- Clasificación información a divulgar
- Generación de boletines, publicaciones, informe e indicadores
- Estrategias de comunicación y divulgación en los medios tradicionales y virtuales (redes sociales y página web).
- Participación en eventos
- Retroalimentación - recopilación
- Medir resultados - impacto

5. Soporte tecnológico

- Asistencia en hardware y software
- Mantenimiento del hardware y software
- Integración de las TIC a las actividades del OE mejorar con un buen diseño gráfico

Fuente: Elaboración propia

4.2. Estructura Organizacional y Funcional del Observatorio de Energía

La estructura organizacional del OEC se establece en función de sus lineamientos estratégicos. Se plantea una estructura organizacional donde se encuentren dos tipos de unidades organizacionales (o departamentos): unidades estratégicas y unidades de apoyo. En la Ilustración 7 se resumen las características de cada tipo de unidad, así como su clasificación y responsabilidades.

Ilustración 7. Unidades Organizacionales: Estratégicas y de Apoyo

	Características	Divisiones	Actividades
Unidades estratégicas	Cada unidad corresponderá a un eje estratégico, garantizando que cada uno tenga un responsable, que vele por el desarrollo de los productos y servicios específicos de cada eje.	1. Política pública y planeación energética 2. Capacidades tecnológicas y mercados de tecnologías 3. Mercados energéticos y regulación 4. Energía y desarrollo sostenible	Procesamiento y análisis de información, con foco en el tema de cada unidad, y en coordinación con las unidades de apoyo. También deben trabajar en conjunto con las unidades de apoyo encargadas de las actividades 1, 2 y 4.
Unidades de apoyo	Se crearon para velar por el cumplimiento de las actividades fundamentales del observatorio, y a la vez para cumplir con actividades convencionales de funcionamiento de una organización.	1. Administración y finanzas 2. Soporte tecnológico 3. Gestión de la información 4. Vigilancia	1. Ejecución de presupuesto, planeación financiera, contratos, etc. 2. Soporte tecnológico 3. Recolección y difusión de la información 4. Vigilancia, coordinada con las unidades estratégicas

Fuente: Elaboración propia

La estructura organizacional es de tipo híbrido (ver Ilustración 8). Se diseña a través de cuatro unidades de apoyo funcional y cuatro unidades estratégicas de tipo divisional, definidas de acuerdo con las áreas estratégicas.

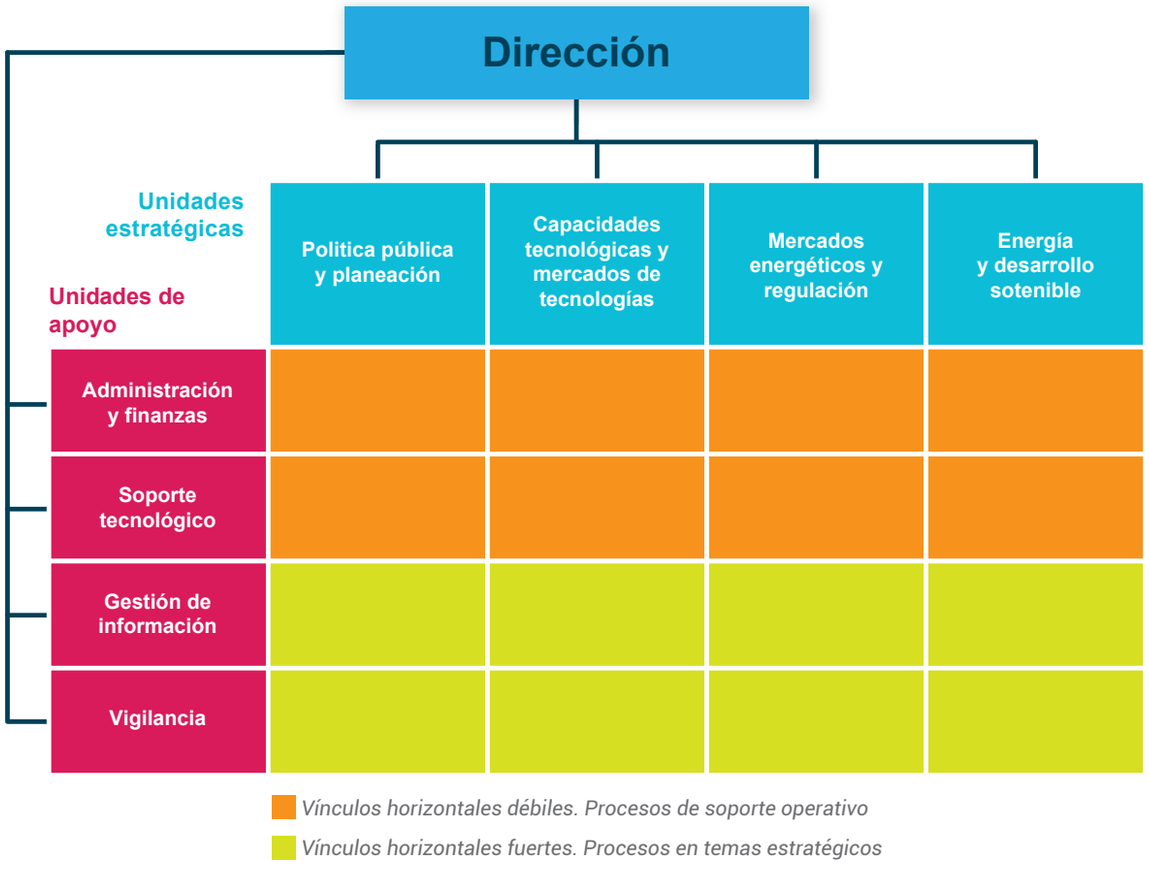
Las unidades de gestión de información, vigilancia y las estratégicas son el núcleo operativo y se encargarán de la generación de productos y servicios. Por ello serán las poseedoras del know-how y tendrán una estrecha relación y constante interacción.

La información será recolectada y almacenada por las unidades de gestión de la información y vigilancia, que constantemente alimentarán la base de datos del observatorio. Con base en esta información, las unidades estratégicas realizarán el análisis y procesamiento de la información y generarán los boletines, indicadores, informes y cualquier otro producto y servicio que les sea asignado. El proceso de difusión de estos productos será realizado por el departamento de gestión de la información en los medios definidos.

La unidad de vigilancia requiere permanente comunicación con las unidades estratégicas, por lo que, adicional a las destrezas propias de esta actividad, se necesita el conocimiento propio de cada unidad estratégica. Por esto, las actividades requieren una coordinación del trabajo sólida y constante, por lo que se establecerán equipos de trabajo que representen fuerzas de tarea permanentes entre las unidades. En estos equipos la autoridad estará a cargo de las unidades estratégicas, quienes definirán los lineamientos del trabajo de acuerdo a sus necesidades de información.

Bajo esta estructura se logra dirigir constantemente los esfuerzos a los ejes estratégicos del OEC y a las necesidades del sector energético a nivel nacional. Se emplea una estructura plana (sin muchos niveles jerárquicos) buscando eficiencia de los recursos económicos y humanos, lo cual también se logra integrando algunas actividades a realizar por las unidades estratégicas en una sola división. Además, se fomenta el cambio, flexibilidad y trabajo en equipo ya que cada unidad es pequeña y se puede adaptar fácilmente a los cambios del entorno.

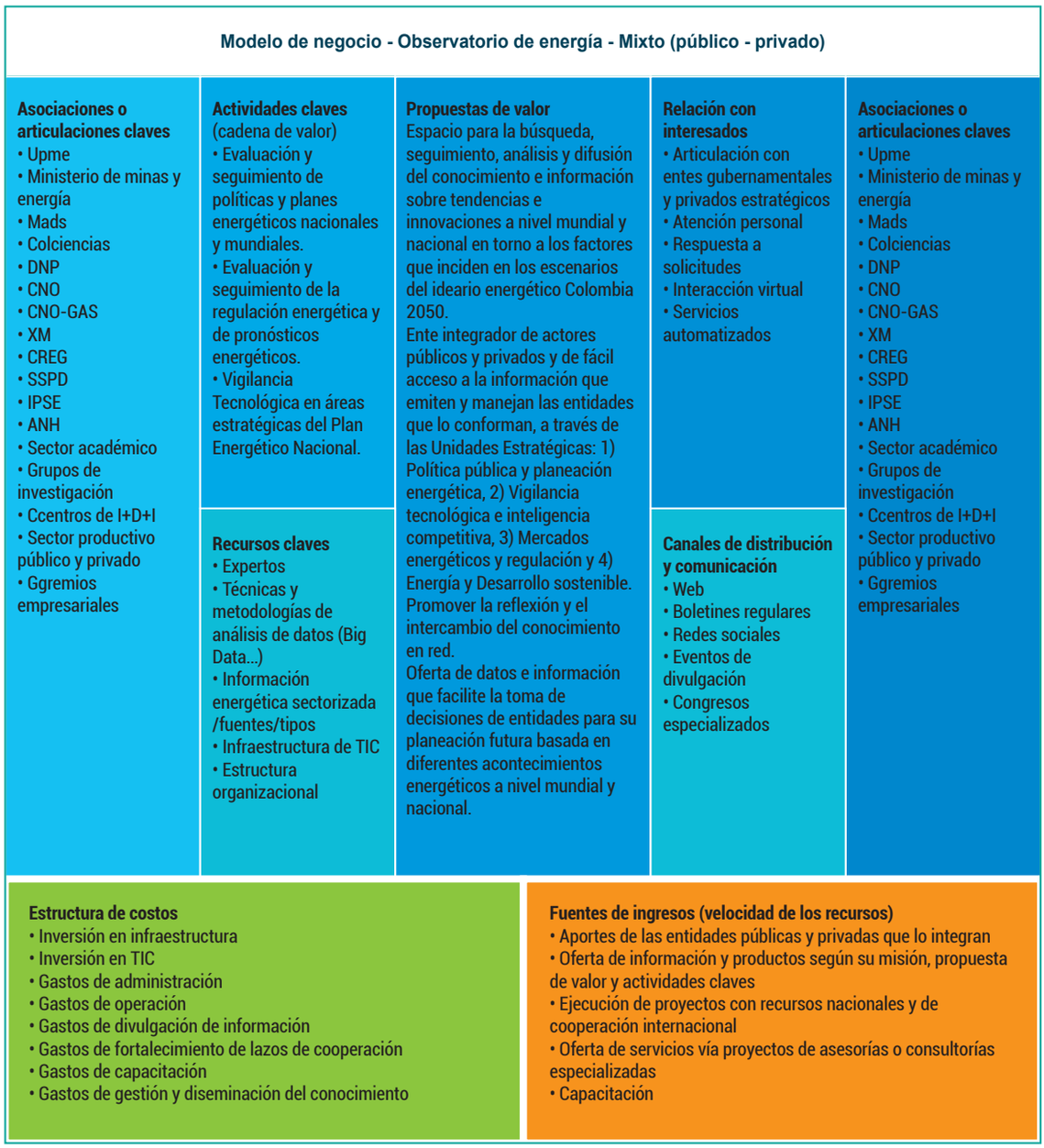
Ilustración 8. Estructura organizacional para el OEC



Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento del Observatorio de Energía se sintetiza en un modelo de negocio (CANVAS) con nueve bloques enmarcados en cuatro grandes áreas, según se muestra en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Modelo de Negocio del OEC por la metodología CANVAS



Fuente: Elaboración propia

Articulación con actores clave

El observatorio se cimienta en asociaciones o articulaciones con actores claves del sector energético que podrían tener algún tipo de relación, no solo como asociados sino como facilitadores en el desarrollo de actividades. El relacionamiento incluye tanto entidades del sector, como entidades de gobierno, el sector académico (compuesto por Instituciones de Educación Superior, incluyendo a los grupos de investigación, centros de I+D+i), el sector productivo público y privado y sus gremios empresariales, entre otros.

A continuación, se describe qué tipo de asociación o articulación es pertinente para las entidades mencionadas, aclarando que esta no es una lista exhaustiva:

UPME: Promotor y potencial socio fundador del Observatorio

Ministerio de Minas y Energía: Potencial socio fundador del Observatorio

MADS: Generador y Usuario de información energética y potencial socio del Observatorio

DNP: Usuario de información y fuente de planeación nacional y sectorial

CON: Generador y Usuario de información energética

CNO-gas: Generador y Usuario de información energética

XM: Generador y Usuario de información energética

CREG: Generador de reglamentación con impacto en el uso de la información energética.

SSP: Generador y Usuario de información energética

IPSE: Generador y usuario de información y potencial socio del Observatorio

ANH: Generador y usuario de información y potencial socio del Observatorio

Colciencias: Capacidad de canalizar iniciativas entre el observatorio y los diferentes actores de interés. Capacidad de estructurar líneas para apoyar el desarrollo de actividades del observatorio desde el ámbito de I+D+i.

Instituciones de Educación Superior: Usuarios y potenciales socios del Observatorio

Centros de I+D+i y grupos de investigación: Usuarios de información energética, canal de comunicación con otros actores de interés.

Sector productivo público y privado y sus gremios empresariales: (Empresas generadoras, transmisoras, comercializadoras y distribuidoras de energéticos): Generadores y usuarios de información y podría ser algunos potenciales socios del Observatorio.

4.3. Requerimientos Técnicos, Tecnológicos e Informáticos

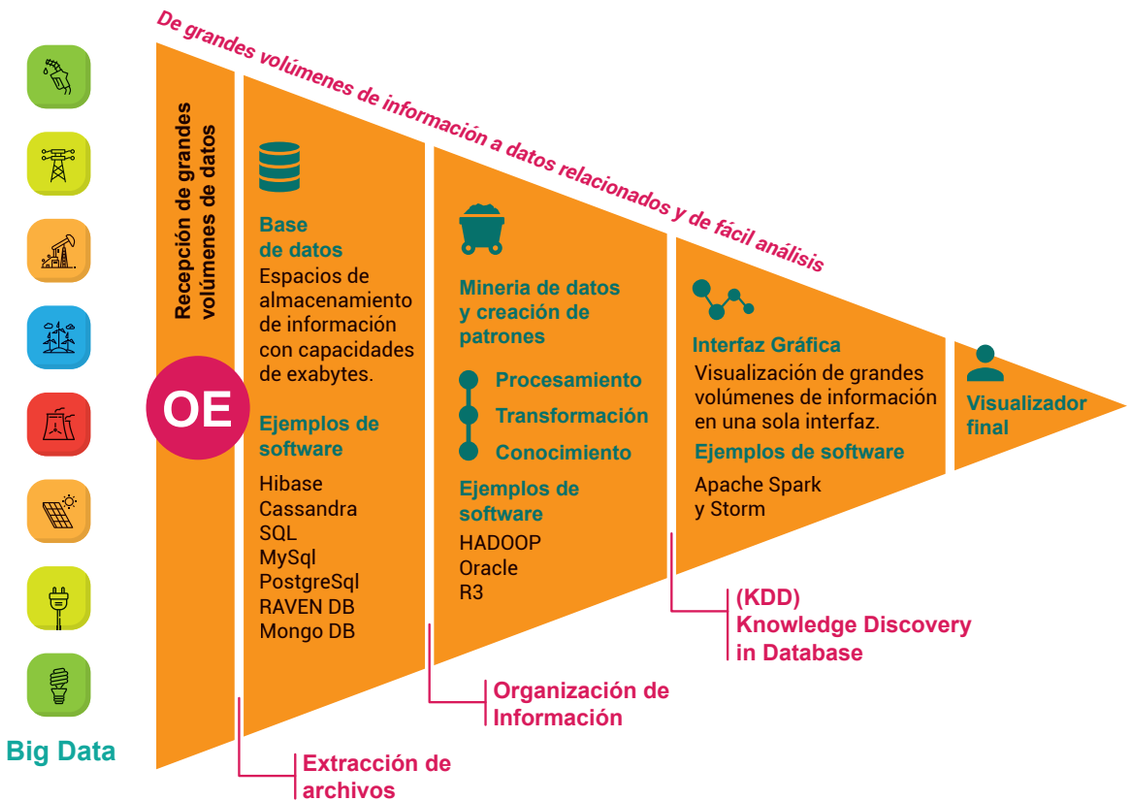
La misión del observatorio se sustenta, en un amplio grado, en la recolección adecuada de información y por ello se requiere contar con una infraestructura tecnológica que permita suplir estas necesidades. Además, al ser un observatorio con componentes transversales como vigilancia tecnológica, monitoreo y prospectiva, que también incluye lineamientos de política, económicos y tecnológicos, se debe contar con capacidades de manejo de datos de distinta naturaleza, con el fin de brindar información de calidad a los diferentes actores que intervienen como el gobierno, el sector empresarial y los consumidores.

Por esta razón, se hace necesario el manejo de una gran cantidad de datos que son generados diariamente por el sector energético, siendo su análisis e interpretación, un reto para los tomadores de decisiones de política, mercado e investigación. Para tal fin, la estructura técnica del observatorio se basará en la tecnología de Big-Data, la cual permite analizar macroestructuras de información y visualizar datos simplificando la interpretación de cualquier métrica en grandes volúmenes de datos.

A su vez, el censado, monitoreo y comunicación en tiempo real de procesos industriales, cadenas de producción, líneas de transmisión o generación energética, y transacciones del mercado, se pueden realizar a través de la conectividad que brinda el internet de las cosas (IoT), generando grandes cantidades de información que ayudan a la toma de decisiones para la industria, a optimizar el consumo energético o para la realización de acciones de respaldo programadas a nivel industrial mediante la inteligencia artificial, que ayude a una mejor gestión del sistema. En el ámbito del OEC, estas tecnologías facilitan el intercambio de información con actores de interés y permiten la alimentación de información en tiempo real.

Finalmente, se destaca la importancia de la seguridad de las mediciones y recolección de datos e información, de modo que se garantice su veracidad. Para ello, la protección de los datos generados se soportará en la tecnología *Blockchain*, que ofrece beneficios en cuanto a seguridad y confianza a través de la descentralización.

Ilustración 10. Diagrama de arquitectura para aplicativo Web



Adaptado de: Goevert, Cloutier, Roth, & Lindemann (2016)

La Ilustración 10 esquematiza como el OEC procesaría la información suministrada por diferentes actores dentro del sector energético. En primer lugar, se presenta el observatorio como recolector de información de cualquier tipo de taxonomía, estructurado, semi y no estructurado, y procede a almacenarla dentro de una base de datos. Ésta no necesariamente debe estar unificada en un mismo servidor o proveedor de almacenamiento de información, dado que es posible la descentralización de los datos gracias a la interconexión de bases de datos mediante softwares de etiqueta, minería y patronaje. Adicionalmente se presentan ejemplos de diferentes compañías prestadoras de servicio y las bases de datos más utilizadas, las cuales cuentan con distintas especificaciones dependiendo de los requerimientos del interesado. Se deben tener en cuenta algunos aspectos como escalabilidad, velocidad, agilidad, indexación, replicabilidad o agregación y se deben abordar en las etapas para la consolidación del observatorio.

El siguiente componente es la organización de información mediante minería de datos creando etiquetas relacionadas o patrones. Como primer paso se encuentra la selección y depuración de los datos, siendo la etapa más dispendiosa, requiriendo cerca del 90% del tiempo, ya que consiste en la recolección y preparación de los datos. Luego de identificada la información, sigue un proceso de transformación de los datos dentro de un modelo estructurado y bajo etiquetas de patronaje. Lo anterior corresponde a

una categorización para que herramientas como algoritmos de agrupación, redes neuronales y árboles de decisión generen una búsqueda más eficaz.

Como siguiente componente se presenta la extracción de conocimiento, KDD (*knowledge discovery in database*), el cual, mediante una técnica de minería de datos, obtiene un modelo de conocimiento, que representa patrones de comportamiento observados en los valores de las variables del problema o relaciones de asociación entre dichas variables. Esta etapa corresponde a la creación del modelo de búsqueda que será el método en que la exploración de los datos será ejecutada.

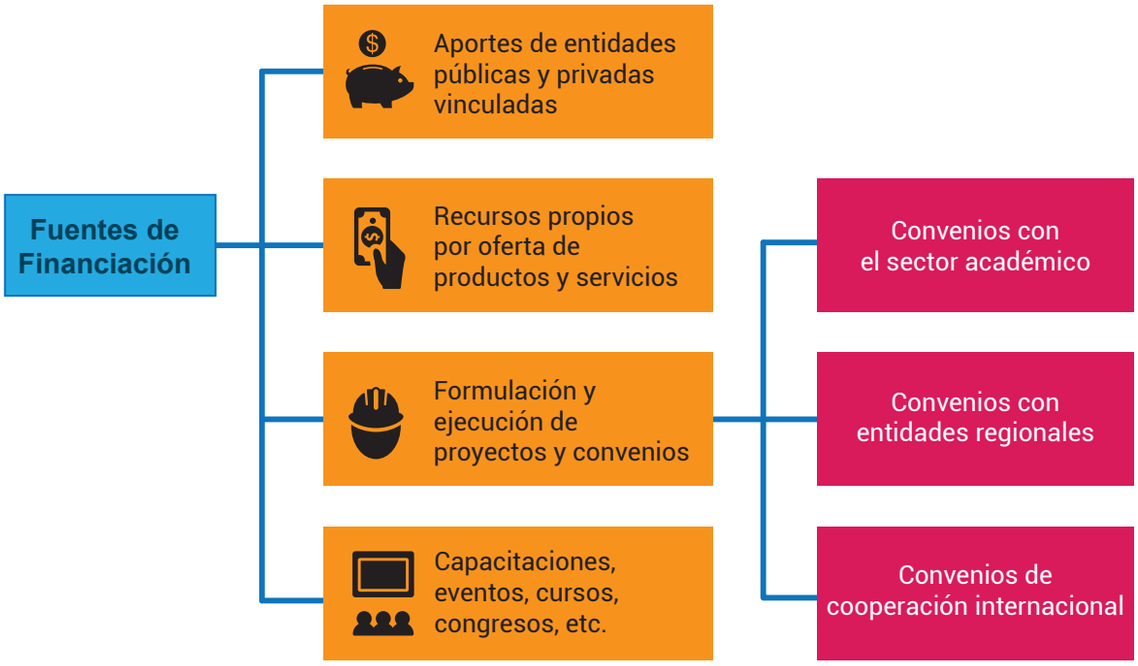
Por último, se muestra la interfaz en donde la información será presentada mediante gráficas o tabulaciones comprensibles para un usuario final, el cual puede tomar un rol netamente informativo o un actor en toma de decisiones. Este componente es el canal principal de comunicación con un usuario que desee conocer cierta información de la base de datos que el observatorio estaría generando, por lo que una interfaz de fácil comprensión y manejo, así como la calidad visual y generación de diagramas comprensibles, determinará el éxito del uso de una interfaz web del observatorio para la toma de decisiones.

Los requerimientos técnicos para el desarrollo de estas funciones pueden sustentarse en programas de código abierto. Este enfoque permitiría un menor costo de apropiación, facilidad en la personalización y el crecimiento modular de las capacidades técnicas del observatorio. Como segunda alternativa, pueden utilizarse los paquetes de *software* manejados actualmente en el sector estatal que, de igual manera, cumplen los requerimientos para el manejo de grandes volúmenes de información bajo tecnologías 4.0.

4.4. Estructura financiera y de sostenimiento del Observatorio

La conformación del observatorio con carácter mixto (público-privada) y sin ánimo de lucro, bajo la figura de asociación entre entidades públicas y privadas regido a través de alianzas o convenios interadministrativos, por la ley 489 de 1998, permitirá su sostenimiento a través de los aportes de los miembros, los cuales se utilizarían principalmente para el soporte administrativo. La financiación se complementaría con búsqueda de recursos de cooperación internacional, líneas de crédito e incentivos de I+D+i entre otros. Además, se generarían recursos propios a través de la oferta de productos y servicios, que puede ampliarse con programas de capacitación, ejecutados por medio de alianzas con las entidades académicas miembros, y otros servicios ofrecidos alineados con las actividades misionales del observatorio, por ejemplo, análisis de demanda o de indicadores energéticos para entidades específicas. Los productos principales del observatorio serían boletines centrados en sus ejes estratégicos e informes de vigilancia en temas priorizados. A manera de resumen, las diferentes fuentes de recursos financieros que se tendrán en cuenta, se clasifican según se muestra en la Ilustración 11:

Ilustración 11. Fuentes de Financiación



Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Estructura de gastos de operación

Con el propósito de determinar las necesidades financieras para el funcionamiento del observatorio y en cumplimiento de su misión, se define su estructura presupuestal, la cual se divide en dos grandes componentes: Funcionamiento e Inversión. Los rubros de gastos de funcionamiento son los necesarios para operar de acuerdo con la estructura orgánica definida para el observatorio y conformada por las cuatro unidades estratégicas descritas en secciones anteriores. Mientras que, los rubros de inversión son aquellos necesarios para disponer de la infraestructura física e informática necesaria para operar.

En la Tabla 4 se presenta, en resumen, la estructura presupuestal de ingresos y gastos que se propone para estimar a partir de ésta los recursos monetarios necesarios para la operación y cumplimiento de su misión.

Tabla 4. Estructura presupuestal del observatorio de energía

INGRESOS
1 Aportes de las entidades públicas y privadas vinculadas.
2 Oferta de productos: Bases de datos, venta de información, venta de documentos.
3 Servicios de asesorías o consultorías especializadas.
4 Formulación y ejecución de proyectos con recursos nacionales e internacionales:
5 Proyectos con el sector académico.
6 Proyectos con entidades regionales con recursos del SGR

7 Proyectos con recursos de cooperación internacional.
8 Eventos de divulgación y capacitación
9 Congresos especializados
GASTOS DE FUNCIONAMIENTO
1 Gastos de personal administrativo.
2 Personal directivo.
3 Personal de apoyo.
4 Gastos de personal operativo.
5 Personal profesional especializado en energéticos.
6 Personal especializado en gestión de TIC.
7 Gastos de gestión y divulgación de la información y el conocimiento.
8 Gastos de capacitación del personal y fortalecimiento de lazos de cooperación.
9 Materiales: Papelería y elementos consumibles de trabajo.
10 Gastos debidos a locaciones y los servicios necesarios.
INVERSIÓN
1 Infraestructura básica: Muebles
2 Equipos informáticos y de comunicaciones (TIC).
3 Software: Aplicativos, desarrollo de bases de datos, sistemas de información, revistas especializadas, entre otros.
4 Desarrollo sitio web y estrategias de posicionamiento y visibilidad en las redes sociales.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Oferta de productos y servicios

Dentro de la oferta de productos y servicios, se buscaría el desarrollo de líneas exclusivas y diferenciales para los miembros. Así, para las entidades públicas los servicios se centrarían en el análisis y transferencia de información como apoyo para la toma de decisiones en asuntos de políticas públicas. Mientras que, para las empresas del sector el enfoque se centraría en asesoría para la toma de decisiones estratégicas. Otras fuentes de sostenimiento incluirían el desarrollo de eventos exclusivos para miembros, enfocados en temas que contribuyan en la toma de decisiones en materia política, y tarifas especiales para participación en eventos de capacitación. Como resumen, en la Ilustración 12 se muestran los productos y servicios que el OE ofrecería al público y que serían de interés para el sector energético.

Ilustración 12. Productos y servicios del Observatorio de Energía

Boletín Virtual

- Publicación corta trimestral
- Información de cada eje estratégico

Boletín Anual

- Edición especial de mayor longitud
- Información relevante de cada tema, durante el año

Publicación de Indicadores Energéticos

- Actualización periódica y difusión permanente

Servicios de Consultoría

- En indicadores, vigilancia tecnológica y mercados de energía para el sector
- Ofrecidas a terceros

Eventos, conferencias, congresos, ruedas tecnológicas y de negocio

- Actividades no periódicas, planeadas en función de los temas de mayor relevancia para los actores de interés en cada uno de los ejes estratégicos.
- Alianzas con el sector académico o industrial.

Cursos de actualización, jornadas de capacitación, cursos de certificación

- Enfocados a un nicho específico de usuarios de energía, principalmente industriales.
- Convenios con entidades especializadas en el tema.

Publicación anual en temas priorizados de vigilancia tecnológica

- Temas prioritarios de vigilancia asociados a los ejes estratégicos.

Fuente: Elaboración propia

4.5. Formulación y seguimiento de Indicadores de desarrollo sostenible para el sector energético

Para las entidades encargadas de formular políticas energéticas, es necesario contar con métodos que permitan medir y evaluar los efectos actuales y futuros del uso de la energía sobre la sociedad, el medio ambiente y la economía. Desde esta perspectiva, en las funciones del observatorio se establece la generación de indicadores para orientar el uso de la energía desde las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la sociedad, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental.

Inicialmente se proponen 25 indicadores, que a su vez se subdividen en 8 temas y 18 subtemas. Algunos indicadores se enfocan en el suministro de servicios energéticos esenciales con miras a luchar contra la pobreza y mejorar las condiciones de vida, mientras que otros lo hacen en los efectos que tiene la energía sobre la economía del país y sobre el medio ambiente. Los indicadores propuestos se irán retroalimentando a través del ejercicio del observatorio para acoplarse con la realidad nacional.

Cada una de las dimensiones contempladas se trabajará según los siguientes lineamientos:

Dimensión sociedad: la dimensión sociedad mide principalmente el grado de equidad y salud en el país, lo que tiene una gran repercusión sobre temas como la pobreza, las oportunidades de empleo, la educación y la contaminación, por citar algunos ejemplos. Los principales temas en esta dimensión son equidad y salud.

Dimensión crecimiento económico: la dimensión crecimiento económico mide en qué grado la arquitectura energética del país contribuye o va en detrimento del crecimiento económico. Para el establecimiento de indicadores, la dimensión se divide en dos grandes temas: patrones de uso y producción y seguridad.

Dimensión sostenibilidad ambiental: la dimensión de sostenibilidad ambiental mide el impacto medioambiental de la energía, tanto el suministro como el consumo en el país. Los impactos ambientales dependen en gran medida de la forma en que se produce y se utiliza la energía, de la combinación de combustibles, la estructura de los sistemas energéticos y las medidas de reglamentación de los gobiernos. Los temas abordados en esta dimensión son atmósfera, agua y tierra.

En la Tabla 5 se listan los indicadores en cada una de las dimensiones tratadas.

Tabla 5. Indicadores de desarrollo sostenible para seguimiento por parte del OEC.

Sociedad		
Tema	**Subtema**	**Indicador**
Equidad	Accesibilidad	Porcentaje de la población sin electricidad
	Asequibilidad	Porcentaje de la población dependiente de combustibles fósiles para producir electricidad
Salud	Seguridad	Víctimas mortales de accidentes producidos por la energía eléctrica
Otros	Calidad del suministro eléctrico	Porcentaje de interrupciones del servicio de energía

Crecimiento económico		
Tema	**Subtema**	**Indicador**
Patrones de uso y producción	Uso global	Uso de energía per cápita
	Productividad global	Uso de energía por unidad del Producto Interno Bruto (PIB)
	Eficiencia del suministro	Eficiencia de la conversión y transmisión/distribución de energía
	Producción	Relación entre las reservas y la producción de energía
		Relación entre recursos y la producción de energía
	Uso final	Intensidad energética de la industria
		Intensidad energética del sector agricultura
		Intensidad energética del sector comercial y servicios
		Intensidad energética del sector residencial
		Intensidad energética del sector transporte
	Diversificación	Porcentajes de los combustibles utilizados para la producción de electricidad
		Porcentaje de energías renovables utilizadas para la producción de electricidad
	Precios	Precios de la energía de uso final por sector y tipo de fuente
Seguridad	Importaciones	Importaciones de energía
	Reservas estratégicas de combustibles	Reserva y consumo de combustibles fósiles
Sostenibilidad ambiental		
Tema	**Subtema**	**Indicador**
Atmósfera	Cambio climático	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por la producción y uso de energía per cápita y por unidad de PIB
	Calidad del aire	Concentraciones de contaminantes atmosféricos en zonas urbanas y rurales.
		Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos
Agua	Calidad del agua	Descargas de contaminantes en efluentes líquidos procedentes de los sistemas energéticos
Tierra	Bosques	Tasa de deforestación atribuida al uso de energía
	Generación y gestión de desechos sólidos	Relación entre la generación de desechos sólidos y las unidades de energía producida

Fuente: Elaboración propia

4.6. Aspectos claves para la puesta en marcha y funcionamiento

El Observatorio de Energía, responde a la revisión de tendencias mundiales, el análisis de experiencias a nivel nacional, así como a las necesidades y oportunidades identificadas a través de expertos y actores de interés. Corresponde a una institución de carácter mixto (público-privada) y sin ánimo de lucro, bajo la figura de asociación entre entidades públicas y privadas regido por la ley 489 de 1998. De esta manera, se permite la consecución de aportes de todas las entidades públicas y privadas que lo integran.

Funcionando bajo un modelo de derecho privado, el OE cuenta con independencia en contratación, instalaciones propias para su funcionamiento, con personal contratado para su dirección y mantiene la participación de las entidades en la toma de decisiones a través de la junta directiva, presidida por la UPME.

El sostenimiento de la entidad se basa en los aportes de los miembros para el soporte administrativo. La financiación se complementa con búsqueda de recursos de cooperación internacional, líneas de crédito e incentivos de I+D+i y generación de recursos propios a través de la venta de servicios.

El OEC, además de recopilar y difundir información, vigilar tendencias en tecnologías, políticas, programas y aspectos de interés de los actores tanto públicos como privados, puede apoyar en la toma de decisiones en política pública energética, inversiones en infraestructura y proyectos, definición de indicadores, configuración de escenarios de largo plazo, que permitan fortalecer el sector energético en el ámbito de la transición energética y su relación con las tendencias de la cuarta revolución industrial y, en general, en la relación energía y sociedad.

Es recomendable impulsar la creación del observatorio en el corto plazo debido a que los cambios de paradigmas energéticos y su relación con los mercados, las tecnologías y la sociedad a nivel mundial son cada vez más rápidos y en consecuencia se requiere del seguimiento, la vigilancia y la inteligencia competitiva de los escenarios energéticos a 2050 en Colombia.

Igualmente, se debe garantizar la idoneidad y credibilidad de los estudios, así como de los indicadores y la difusión de información como resultado de la gestión de la información del observatorio como aspecto medular de su naturaleza.

El observatorio debe ser independiente y autónomo; sin embargo, requiere de la interacción y relacionamiento con todas las visiones e intereses legítimos y responsables para lograr equilibrio entre el interés particular y general. Por esta razón es importante la presencia de la UPME y la participación de las universidades.

Las funciones de 'vigilancia tecnológica' y 'prospectiva' asignadas a las unidades de apoyo del observatorio apoyan la toma de decisiones lo que les imprime un carácter estratégico. Por esta razón, como parte del ejercicio de formulación se desarrollaron dos procesos relacionados con estas funciones, cuyos resultados permitirán pautar los lineamientos iniciales de la institución. En primer lugar, se priorizaron cinco variables de impacto para el modelamiento del futuro energético colombiano y se realizaron ejercicios de vigilancia sobre cada una de ellas. Complementariamente, se desarrolló un ejercicio de prospectiva para plantear escenarios de transición energética del país al año 2050. Los resultados de estos procesos se consignan en los siguientes capítulos del documento.

5. VIGILANCIA TECNOLÓGICA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ESCENARIOS ENERGÉTICOS

5

VIGILANCIA TECNOLÓGICA PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ESCENARIOS ENERGÉTICOS

La vigilancia puede definirse como el esfuerzo sistemático y organizado de una organización para la observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma al poder implicar una oportunidad u amenaza relacionada con sus actividades (Palop & Vicente, 1999).

Dentro de la formulación del Observatorio de Energía para Colombia, se estableció una unidad de apoyo centrada en la vigilancia del entorno. Esta unidad brindará soporte a las áreas estratégicas del observatorio, teniendo a cargo actividades como la planeación y definición de los parámetros de vigilancia, el monitoreo del sector energético a nivel local e internacional, la realización de estudios de vigilancia y prospectiva, la vigilancia tecnológica de áreas estratégicas del PEN, el desarrollo de actividades de benchmarking y la retroalimentación de los resultados obtenidos.

En apoyo a la estructuración metodológica de esta unidad, se diseñó un conjunto de ejercicios de vigilancia centrados en algunas de las variables que impactan los escenarios energéticos establecidos en el Ideario 2050. Las temáticas seleccionadas para este ejercicio fueron:

1. Tecnologías emergentes en energías renovables y regulación requerida para la transición energética.
2. Sistemas de transmisión y almacenamiento para energía generada a partir de fuentes renovables
3. Vehículos eléctricos: Tecnologías de almacenamiento y programas de promoción.
4. Energía solar térmica para refrigeración y calentamiento.

Los ejercicios de vigilancia se llevaron a cabo siguiendo la metodología esquematizada en la Ilustración 13. Cada ejercicio respondió a unas preguntas específicas de vigilancia

(respondiendo a factores críticos identificados), formuladas según los aspectos de interés en cada una de las temáticas tratadas. Las actividades incluyeron la consulta de fuentes de información no estructurada (fuentes generales de información accesibles de manera gratuita a través de buscadores), consulta de fuentes estructuradas (bases de datos de artículos científicos y patentes), la organización y análisis de información y la retroalimentación con expertos.

Ilustración 13. Metodología de los Ejercicios de Vigilancia Tecnológica

Fuente: Elaboración propia con base en Palop & Vicente (1999) y Sánchez Torres & Palop (2003)

En las siguientes secciones se presentan los resultados más importantes obtenidos en cada uno de los ejercicios, así como algunas conclusiones y recomendaciones orientadas a facilitar el cumplimiento de las apuestas energéticas del país para el 2050. Los informes completos de vigilancia hacen parte de la información de soporte al proyecto de investigación, entregada la UPME como insumo en la estructuración del observatorio.

5.1. Tecnologías emergentes en fuentes renovables de energía y regulación para la transición energética

Dentro de los aspectos que implica la transición energética para Colombia se encuentra la adopción de nuevas capacidades tecnológicas, como también el desarrollo de marcos regulatorios y de mercado apropiados para organizar armónicamente estos elementos en función de las necesidades de la demanda. Teniendo en cuenta esto, un primer ejercicio de vigilancia se estructuró para identificar las principales tendencias emergentes relacionadas con las fuentes renovables de energía, así como los elementos de regulación energética implicados en su integración al sistema energético nacional.

De esta manera, en los siguientes apartados se presentan los aspectos claves identificados en términos de la dinámica tecnológica de las fuentes de generación de energía eléctrica libre o baja en emisiones de carbono, su competitividad en costos tanto de implementación como de servicio, y el marco regulatorio que permita al mercado interactuar de manera eficiente e incluyente con todos los actores involucrados.

5.1.1. Tendencias en el desarrollo de tecnologías en generación de energía a partir de fuentes renovables y regulación para la transición energética

El ejercicio sobre tecnologías emergentes en generación de energía a partir de fuentes renovables y regulación para la transición energética se estructuró alrededor de tres preguntas de vigilancia, las cuales se muestran a continuación, junto con los resultados obtenidos.

¿Cuáles son las características de las tecnologías emergentes con alta dinámica de innovación y desarrollo para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no convencionales?

La búsqueda se centró en energía solar y eólica, como fuentes renovables de energía priorizadas en los escenarios trazados por el PEN 2050. Los hallazgos muestran que la tecnología medular en generación solar presenta una dinámica mayor a la eólica, mientras que los aspectos transversales tienen su propia dinámica, aplicable a los distintos sistemas de generación.

De acuerdo con el Instituto Tecnológico de Massachusetts -MIT-, para incrementar la contribución de la energía solar en la mitigación del cambio climático, es necesario destinar una gran cantidad de recursos gubernamentales a la investigación y desarrollo de tecnologías emergentes, lo que permitirá enfocarse en la reducción de costos (MIT, 2015). La Tabla 6, resume las principales tendencias en investigación alrededor de celdas solares, clasificadas según el estado de avance de la tecnología. Como se observa, existen avances potenciales y áreas de investigación para la incorporación de nuevos materiales, reducción de pérdidas y mejoras en el manejo de la luz, entre otros aspectos.

Tabla 6. Fortalezas y oportunidades de las tecnologías de celdas solares.

Material	Eficiencia (%)		Fortalezas y opciones	Investigación y desarrollo
	Celda	Módulo		
Tecnologías maduras implementadas a gran escala				
Silicio Monocristalino	25,6	22,4	Material abundante; más de 25 años de desarrollo	Reducción pérdidas; Nuevos esquemas de metalización; Mejorar diseños
Silicio Policristalino	21,3	18,5	Material abundante; más de 25 años de desarrollo	Mejorar la calidad de oblea
CIGS	21,7	17,5	Substratos flexibles	Mejorar manejo de la luz; Incremento de eficiencias para gaps entre bandas; reducción pérdidas
CdTe	21,5	18,6	Substratos flexibles; menor tiempo de retorno de inversión.	Reducir espesor celdas; reducción de pérdidas
Tecnologías emergente implementadas a pequeña escala				
Sensibilizada por colorante TiO2	11,9	10,0	Colores ajustables	Mejora oxidación-reducción; reducción pérdidas, incremento estabilidad
Película delgada de Silicio	11,4	12,2	Módulos flexibles;	Reducción de pérdidas de recombinación; mejorar manejo de la luz
Orgánica	11,5	9,50	Módulos flexibles;	Reducción de pérdidas de recombinación; mejorar manejo de la luz
Tecnología en proceso de fabricación				
Galio Arseniuro de Galio	28,8	24,1	Módulos flexibles y semitransparentes	Mejorar manejo de la luz; desarrollo de multifunción de película delgada
Tecnología en desarrollo				
Perovskita	21,0	N.A.	Módulos flexibles	Reducción de pérdidas de recombinación; reducción pérdidas; incremento estabilidad, tándem de perovskita
Kesterita (CZTS)	12,6	N.A.	Módulos flexibles	Mejorar manejo de la luz; reducción pérdidas;
Puntos Cuanticos	9,90	N.A.	Módulos flexibles	Mejorar manejo de la luz; reducción pérdidas;

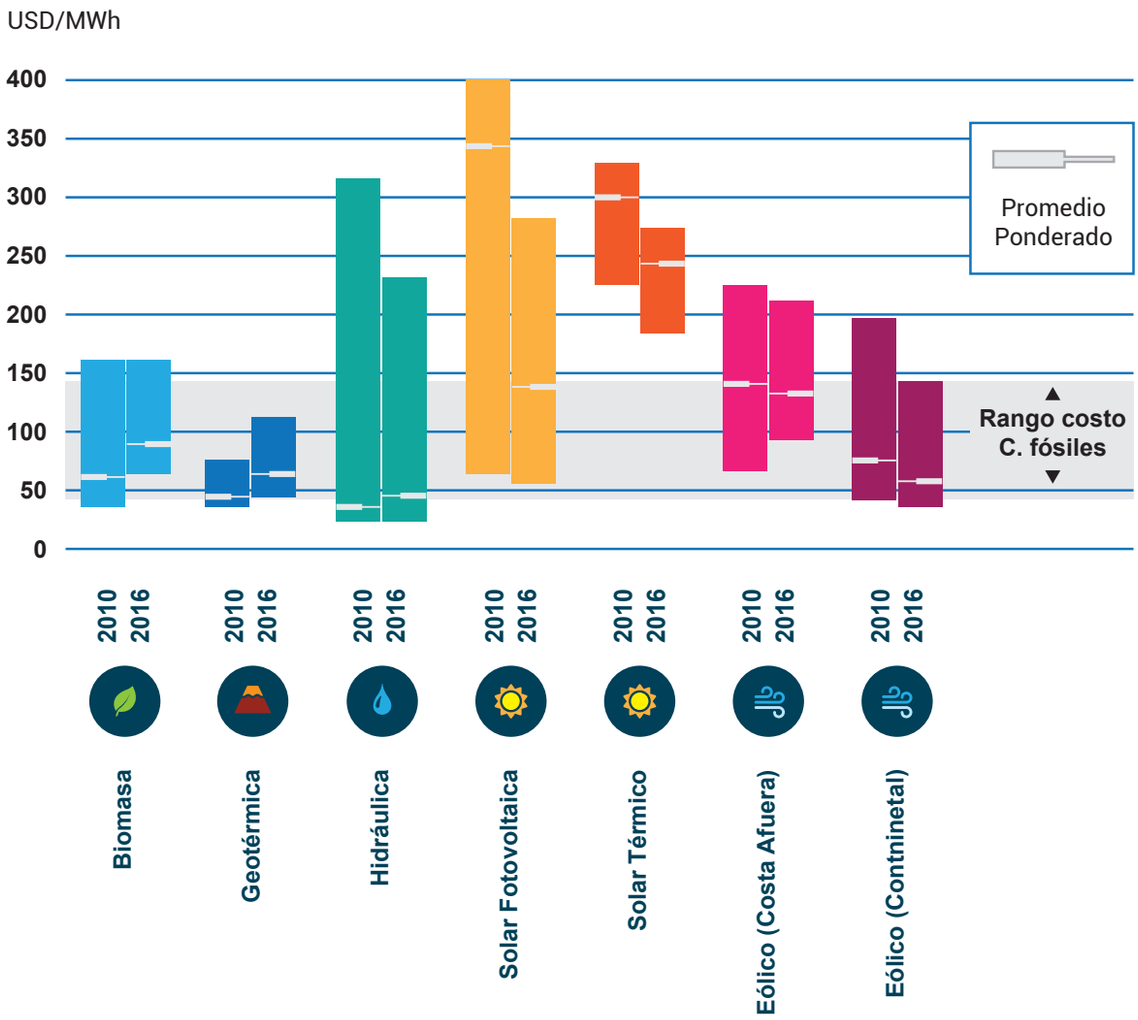
Fuente. Traducción libre de Polman, Knight, Garnett, Ehrler, & Sinke (2016)

En las tecnologías eólicas, se identificó que la detección y el pronóstico de fallas son un factor crítico en los parques de generación. Por ello existen oportunidades de desarrollo tecnológico e investigativo en dispositivos para medir magnitudes físicas en los componentes de los aerogeneradores, construcción de modelos de predicción y esquemas de programación de mantenimientos.

¿Cuál es la tendencia en términos de costos de las tecnologías asociadas a la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no convencionales y de la energía producida a través de ellas?

La evaluación de tendencias en costos se realizó a través del indicador Costo Nivelado de Electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés). En la Ilustración 14, se presenta un comparativo de este indicador por tecnología y años (2010 y 2016). El indicador se presenta en términos de Dólar por Megavatio Hora (USD/MWh).

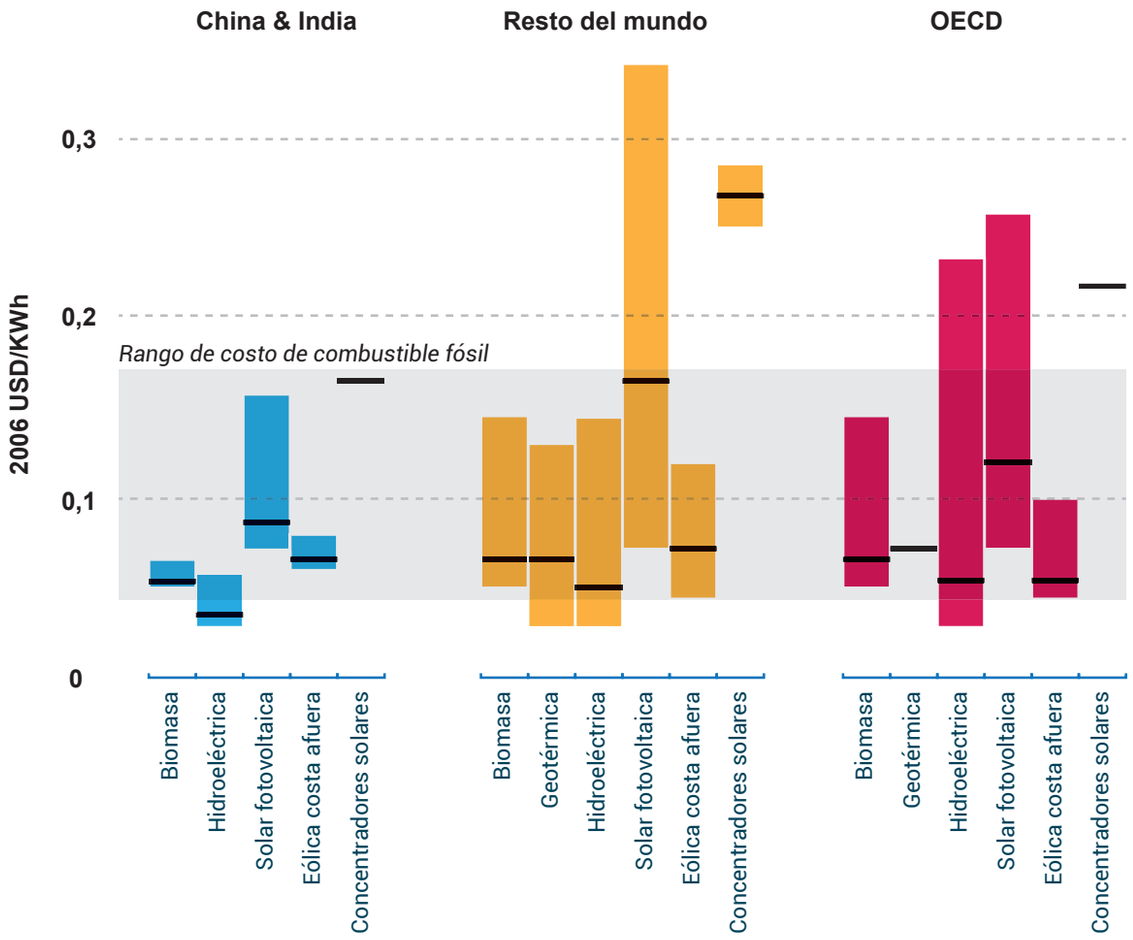
Ilustración 14. Costo nivelado de la energía por tecnología 2010 y 2016



Fuente: IRENA (2017)

La literatura actual indica que, aunque este indicador ya cruza los rangos de las energías convencionales en países de referencia (China, India y el promedio de la OCDE), existen países y tecnologías donde aún esta distante la paridad de red. Esta situación se muestra de manera gráfica en la Ilustración 15.

Ilustración 15. Costo nivelado de la energía por región (2016),

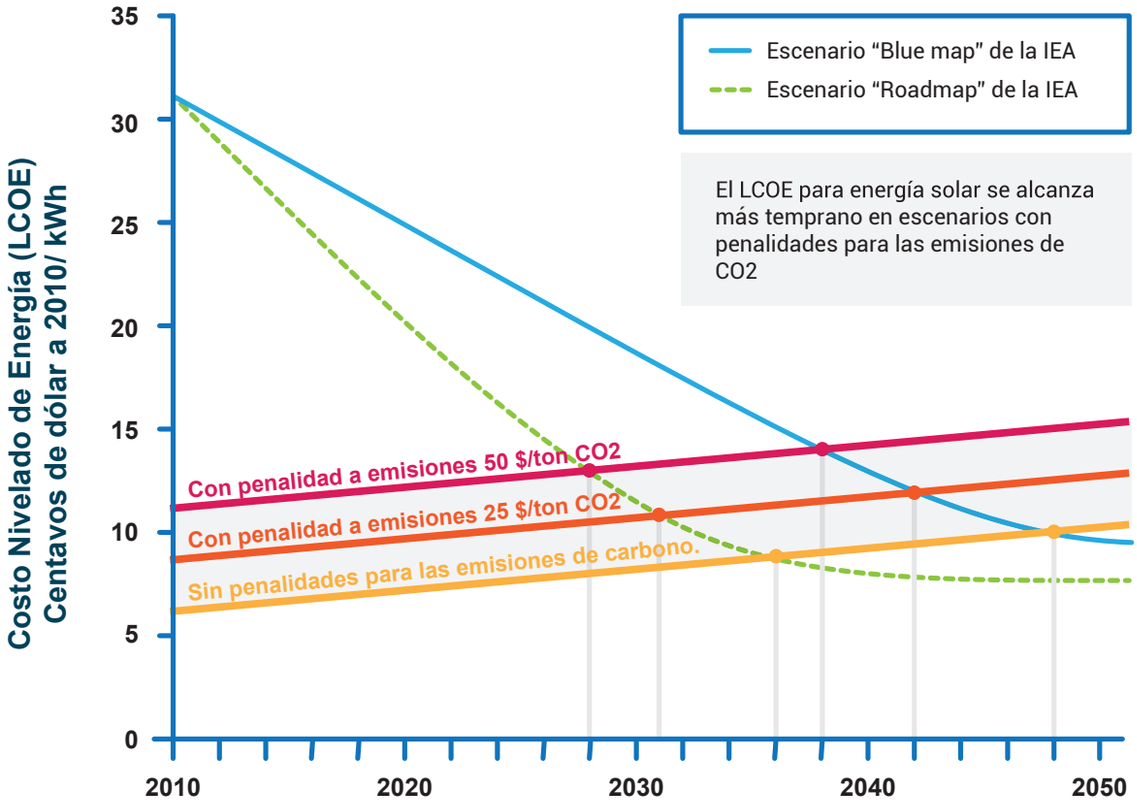


Fuente: IRENA (2017)

De acuerdo con los valores históricos, el panorama para la energía eólica es positivo, puesto que el horizonte de tiempo para alcanzar paridad de red es el 2020 (IRENA, 2017). En contraste, para la energía solar fotovoltaica, la paridad de red respecto a plantas térmicas podría alcanzarse entre el año 2028 y el 2040 (Hernández-Moro & Martínez-Duarte, 2013). La Ilustración 16 muestra esta tendencia.

Finalmente, según el escenario "Nuevas Políticas" de la IEA, para el año 2040 se espera que las adiciones en capacidad de generación con fuentes renovables superen el 60% de la capacidad total global adicionada. Bajo este escenario, existiría paridad de red entre la tecnología solar fotovoltaica y las tecnologías de combustibles fósiles.

Ilustración 16. Costo nivelado de Energía (LCOE) Fotovoltaica proyectado 2050.



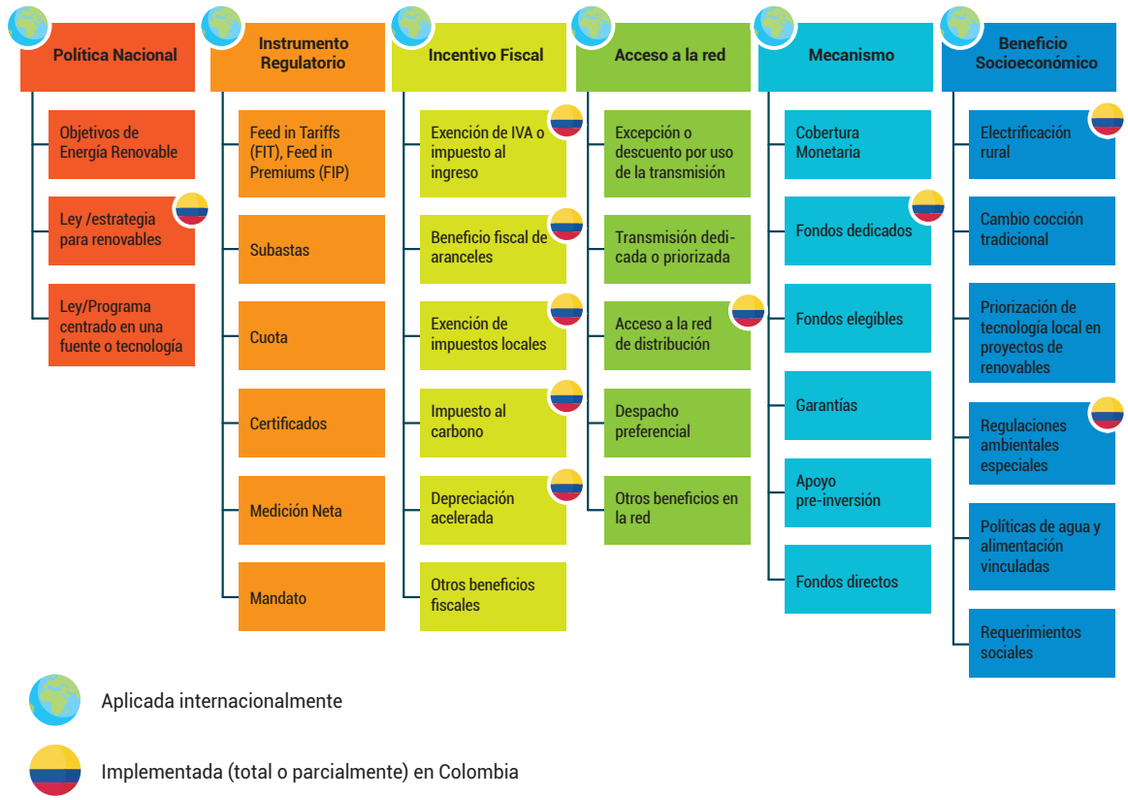
Fuente: Hernández-Moro & Martínez-Duarte (2013)

¿Cómo son las políticas que se adoptan para promover el ingreso de nuevos actores para participar en el mercado eléctrico, bajo los nuevos modelos tecnológicos que involucran las fuentes de energía renovables no convencionales?

Las funciones tradicionales de la política energética y la regulación son garantizar el acceso adecuado y suministro confiable del servicio, la protección al usuario de los precios altos, y asegurar que las entidades del sector privado estén en la capacidad de recuperar su inversión. Por otro lado, se debe considerar que el acceso a la energía y el desarrollo socioeconómico han sido los principales propulsores del cambio en los países en desarrollo, mientras que, en los países desarrollados, han sido la seguridad energética y los asuntos ambientales. Por lo tanto, las políticas gubernamentales juegan un rol crucial en la aceleración del despliegue o implantación de las tecnologías de energía renovable. Dichas políticas abarcan, desde una concentración principalmente en electricidad a partir de fuentes renovables, hasta la inclusión de energía renovable para refrigeración y transporte (Meier, Vagliasindi, & Imran, 2014).

La Ilustración 17 despliega la gama de instrumentos, medidas y políticas que se han usado a nivel mundial para la promoción de energías renovables. En la gráfica se indican aquellos elementos que han sido incorporados por el estado colombiano en su estrategia global de promoción a estas fuentes. Se observa un énfasis principal en los incentivos fiscales, teniendo aun un potencial de aprovechamiento de otros mecanismos que enfatizan en la promoción del mercado.

Ilustración 17. Medidas y políticas para la promoción e integración de energías renovables.



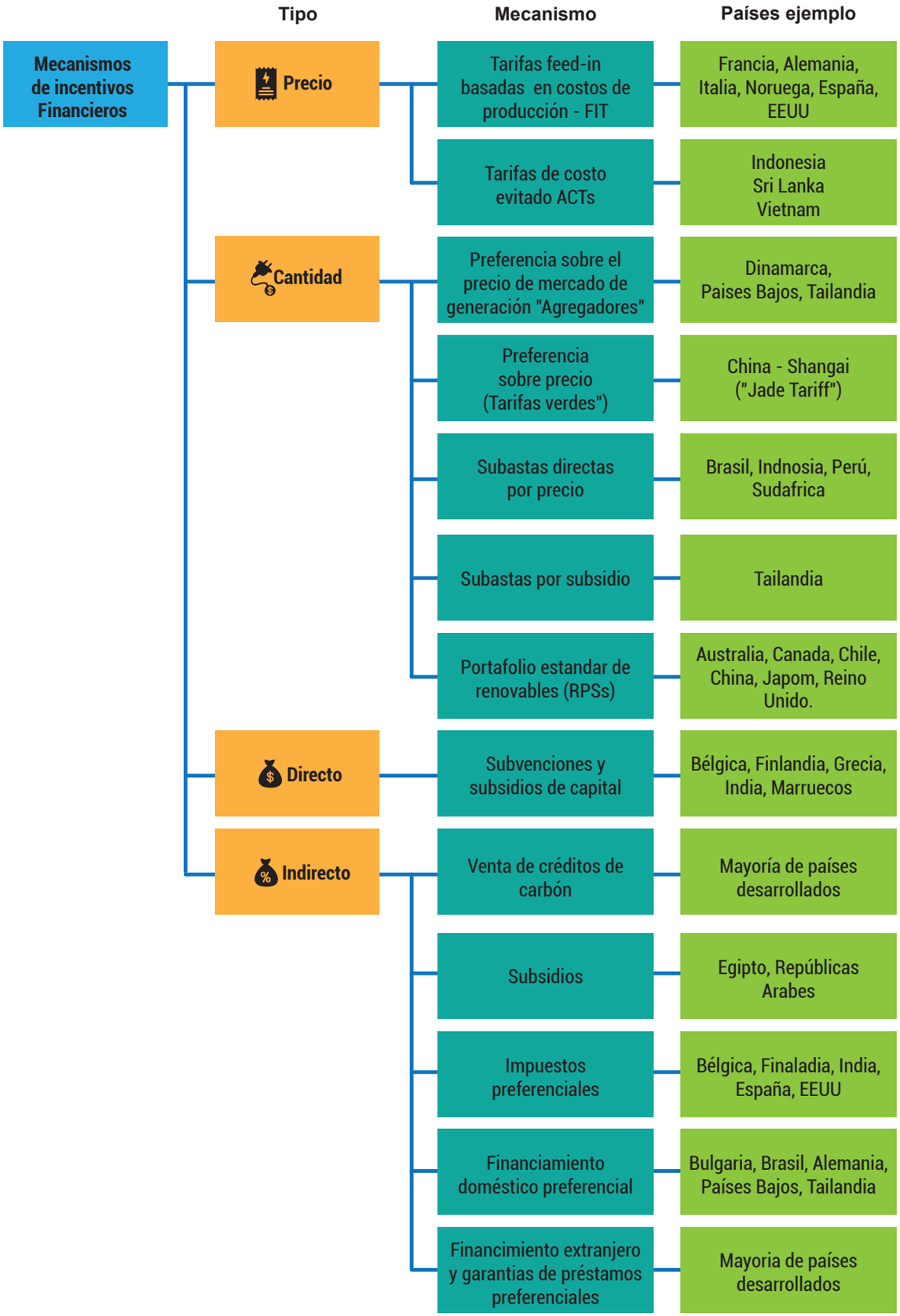
Fuente: Elaboración propia con base en IEA & IRENA (2017) y la revisión del marco legal colombiano.

A nivel internacional, la generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables no convencionales se estructura en la creación de mecanismos de incentivos fiscales. En la Ilustración 18 se agrupan los diferentes mecanismos de incentivos financieros con base en información del banco mundial. La clasificación se realiza de acuerdo con el tipo de generalización, responsable del cargo y país que ha implementado esta política.

Se resalta el mecanismo de mercados intradiarios, adoptado en Europa que ayuda en la mejora de la distribución de las fuentes de energía renovable variable (solar fotovoltaica y eólica), administra la demanda flexible, aprovecha las condiciones climáticas en tiempo real y funciona como mitigador del riesgo para los esquemas tarifarios de renovables. Estos presentan una gran oportunidad en términos de armonización de los mercados de corto plazo.

De otra parte, se resalta a los agregadores, que corresponden a compañías que actúan como intermediarias entre el usuario final de la energía que dispone de recursos distribuidos de energía y aquellos participantes del sistema que deseen explotar esos servicios. Fundamentados en los sistemas de energía, la gestión de la demanda y la infraestructura avanzada de medición, los agregadores de mercado representan una gran oportunidad para articular los pequeños actores con el mercado. Sin embargo, los entes deben garantizar que los agregadores creen valor para el mercado en lugar de valor privado para una limitada parte de los participantes en la cadena.

Ilustración 18. Árbol temático de las políticas para energías renovables.



Fuente: Elaboración propia con base en Meier, Vagliasindi, & Imran (2014)

En el ámbito nacional, Colombia, al firmar el acuerdo de París, adoptó como meta unilateral e incondicionada el compromiso de "reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030" (García Arbeláez, Vallejo López, Higgings, & Escobar, 2016). Por esta razón, la Ley 1715 de 2014 es parte fundamental de la política nacional para alcanzar las metas del acuerdo de Paris y se fortalece con otros instrumentos regulatorios. La Tabla 7 resume el marco legal del país para la promoción de energías renovables.

Tabla 7. Marco legal colombiano para la promoción de las fuentes no convencionales de energía renovables

Documento	Entidad	Fecha	Objeto
Ley 1715 del 2014	Congreso	may-14	Establecimiento del Marco Legal
Decreto 1283	MinAmbiente	ago-16	Certificación ambiental para beneficios tributarios
Resolución 045	UPME	feb-16	Aval de exclusión de gravámenes
Resolución 143	UPME	mar-16	Registro de Proyectos FNCER
Resolución 186	MinAmbiente	feb-12	Metas Ambientales
Informe de Incentivos	UPME	Periódico	Informe de proyectos FNCER Registrados y con beneficios tributarios
Documento 161	CREG	dic-16	Proyecto de Resolución Mecanismo Financiero Integración FNCER
Resolución 030	CREG	feb-18	Regulación de actividades de Autogeneración a pequeña escala y Generación Distribuida en el SIN
Decreto 0570	MinMinas	mar-18	Lineamientos de mecanismos de contratación a largo plazo
Resolución 038	CREG	abr-18	Regulación actividades de Autogeneración y Generación Distribuida en ZNI
Resolución 40072	Min Minas y Energía	ene-18	Mecanismos para la implementación de infraestructura avanzada de medición
Proyecto de resolución 201	CREG	dic-17	Metodología para determinar el cargo por confiabilidad, ENFICC, de Plantas Solares Fotovoltaicas
Proyecto de resolución	UPME	mar-18	Proyecto para conceptuar sobre los proyectos de gestión eficiente de la energía - beneficios tributarios
Proyecto de resolución 242	CREG	dic-16	Metodología para determinar la energía firme de de Plantas Eólicas
Proure	UPME	dic-16	Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022
Resolución 1312	MinAmbiente	ago-16	Adopción de términos de referencia para el EIA de proyectos eólicos continentales y otras determinaciones
Resolución 281	UPME	jun-15	Límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala

Documento	Entidad	Fecha	Objeto
Decreto 2492	Min Minas y Energía	dic-14	Implementación de mecanismos de respuesta de la demanda
Decreto 2469	Min Minas y Energía	dic-14	Política energética en materia de entrega de excedentes de Autogeneración
Resolución 123	CREG	sept-14	Información en las facturas del servicio, para promover el uso eficiente y el ahorro de energía eléctrica.
Proyecto de resolución 046	CREG	sept-14	Metodología para determinar la ENFICC de Plantas Geotérmicas

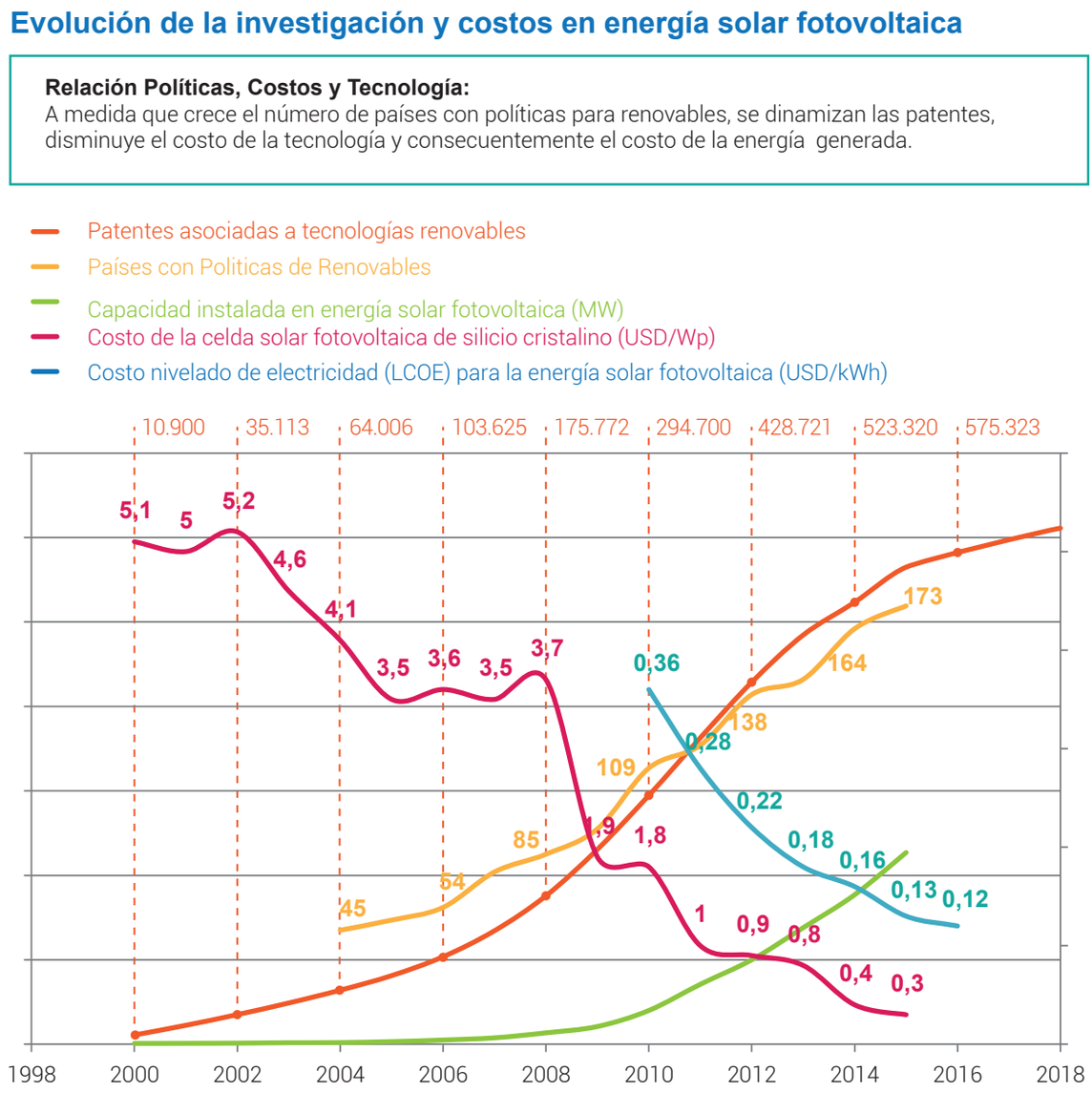
Fuente: Elaboración propia (Ultima revisión: 29 de mayo de 2018)

Lo anterior muestra que en Colombia se presentan avances en algunas de las políticas y medidas para la promoción e integración de las renovables, pero persiste el rezago en términos de acceso a la red e interconexión, aspectos socio ambientales, así como de capacidades locales de financiamiento, capacidad técnica y estandarización.

5.1.2. Preparación del país para la incursión de las energías renovables a gran escala

La dinámica de investigación y desarrollo en el área de energías renovables muestra una relación entre avances políticos e investigativos y la disminución de costos de implementación. En la Ilustración 19 se ejemplariza esta situación para el caso de la energía solar fotovoltaica, observando que en la medida en que aumentan aspectos como el número de patentes asociados a la tecnología, el número de países que adoptan políticas de promoción o los MW instalados, disminuyen los costos asociados, en este caso referidos al costo de la celda solar de silicio cristalino (c-Si PV) y al costo nivelado de la energía (LCOE).

Ilustración 19. Relación entre investigación y desarrollo en energía solar fotovoltaica



Fuentes: Kalkman, Merhaba, Bose, & Bradley (2015); IRENA (2017); REN21 (2017); IRENA (2018)

Como consecuencia de esta tendencia, a nivel mundial las energías no convencionales están alcanzando paridad con las convencionales y podría esperarse que en la próxima década el precio no sea el aspecto fundamental en la toma de decisiones de inversiones del sector. Frente a este escenario, el análisis de regulación y políticas podría brindar elementos fundamentales para el aprovechamiento competitivo de la transición energética en Colombia.

En primer lugar, se destaca la necesidad de preparar oportunamente la regulación del mercado para eliminar o reducir las barreras no económicas, ya que factores como la pedagogía del usuario, la capacitación de los profesionales del sector, los modelos de financiación y los aspectos socio-ambientales, garantizan la efectividad de las políticas para las energías renovables. Además, debe tenerse en cuenta que los modelos de negocio asociados a la generación distribuida requieren de esquemas regulatorios, que se adapten a las necesidades y recursos disponibles en cada geografía. Consecuentemente, es fundamental

determinar los grados de efectividad de las políticas mediante indicadores del impacto de políticas, de la suficiencia de remuneración y del costo total, entre otros.

De otra parte, se requiere fortalecer los incentivos financieros para las energías renovables, así como adoptar los nuevos modelos de gestión del riesgo y ampliar la capacidad de integración a la infraestructura de transmisión, evitando capacidad de generación renovable inoperante.

Desde el punto de vista de I+D+i, es necesario iniciar actividades de investigación sobre los efectos técnicos de los servicios auxiliares de las fuentes renovables para el sistema de potencia local (regulación, balanceo, reserva rodante, entro otros). Además, es importante alinear la investigación en el país con los esfuerzos globales de desarrollo de tecnologías para las fuentes de energía renovables no convencionales, por ejemplo, la investigación y desarrollo de materiales para la construcción de las celdas solares que permitan mejorar la eficiencia en la transformación de la energía. De igual manera, puede avanzarse en la integración de Big Data y tecnologías 4.0 al sector energético, dado que las capacidades de procesamiento de grandes volúmenes de información, favorecen la optimización del control de generación.

5.2. Tecnologías de almacenamiento para energía generada a partir de fuentes renovables

El mercado de generación de energías renovables ha crecido y se ha fortalecido a través de la integración de soluciones que permiten su aprovechamiento eficiente. Sin embargo, la generación basada en fuentes renovables, en particular la energía solar y la energía eólica, depende de las condiciones meteorológicas, ya que estas presentan un ciclo de producción intermitente. Esto puede llegar a causar problemas de abastecimiento e incluso daños en algunos equipos del sistema eléctrico debido a las fluctuaciones de corriente. Aún más importante, la intermitencia hace que generalmente no sea posible el uso instantáneo de la energía, creando la necesidad de almacenar aquella que se produce en momentos de baja demanda.

Por lo tanto, el almacenamiento facilita la gestión de la energía y permite la existencia de reservas para periodos de escasez, por ejemplo, durante el fenómeno del niño. Por ello, resulta un elemento primordial para la implementación de soluciones energéticas descentralizadas, como la generación distribuida y las microredes, que abren paso a nuevos mercados, generando una mayor independencia en el suministro de energía.

Actualmente, el mercado del almacenamiento de energía ha ampliado sus horizontes, desarrollando diferentes tecnologías que han aumentado paulatinamente su eficiencia y vida útil. Según la Corporación Financiera Internacional (IFC), se espera que la implementación de tecnologías de almacenamiento de energía crezca más del 40% anual en la próxima década, agregando aproximadamente 80 GW de nueva capacidad de almacenamiento a los 2 GW estimados existentes en la actualidad.

Reconociendo la importancia de la implementación de este tipo de tecnologías, empresas del sector eléctrico en Colombia, como CELSIA, XM e ISA, han desarrollado proyectos y jornadas de capacitación en almacenamiento de energía para generación renovable, contribuyendo al logro de un máximo aprovechamiento de la energía producida a través de estas fuentes.

En línea con este contexto, se estructuró un ejercicio de vigilancia para determinar las tendencias globales en almacenamiento de energía para proyectos en energías renovables, y evaluar qué opciones son factibles para la implementación en el sistema eléctrico colombiano con participación de energías

renovables de acuerdo con lo establecido en el PEN 2050. En los siguientes apartados se presentan los resultados.

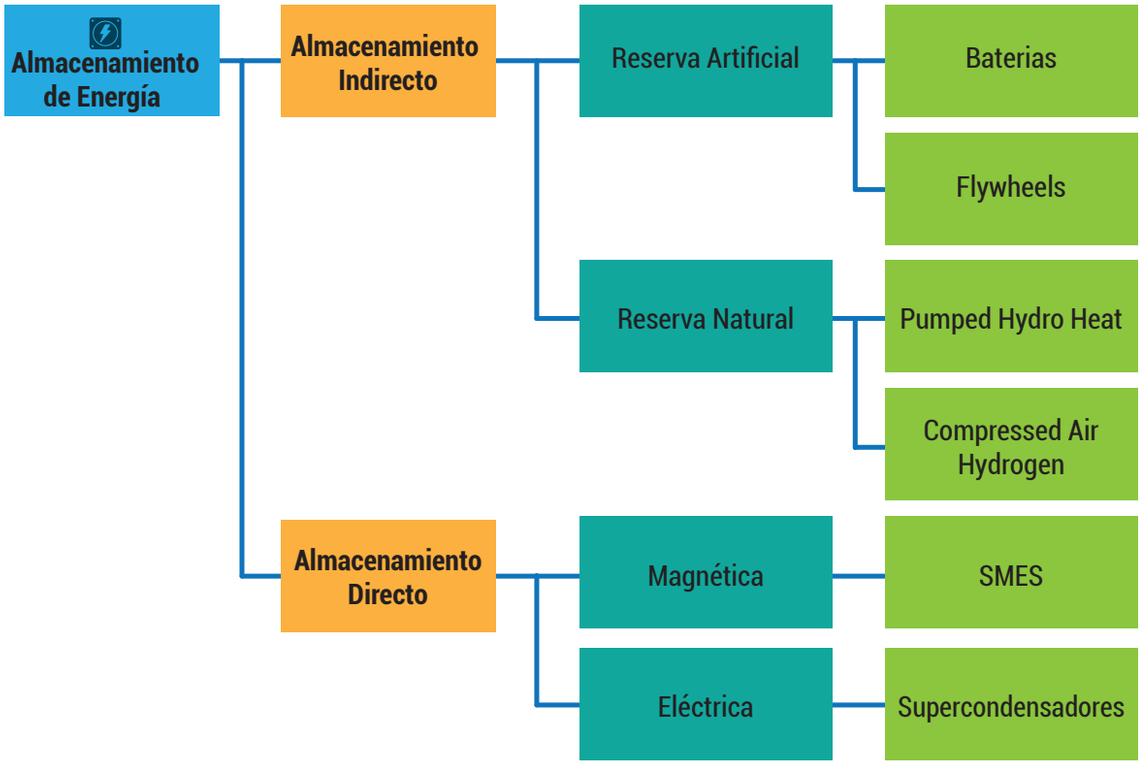
5.2.1. Tendencias en tecnologías para la transmisión y almacenamiento de energía generada con fuentes renovables

A continuación, se muestran las preguntas estructuradas para el ejercicio de vigilancia y sus respectivos hallazgos.

¿Cuáles son las principales características de las tecnologías más usadas para almacenamiento de energía producida por fuentes renovables, que se perfilen como alternativas factibles en el contexto colombiano?

Un sistema de almacenamiento de energía está compuesto por uno o varios dispositivos capaces de almacenar carga eléctrica, ya sea a través de procesos químicos (como las baterías) o eléctricos (como los supercondensadores y bobinas superconductoras). En la Ilustración 20 se presenta una clasificación de las tecnologías de acuerdo con el mecanismo empleado para el almacenamiento de la energía.

Ilustración 20. Clasificación de las tecnologías de Almacenamiento



Fuente: (San Martín, Zamora, San Martín, Aperribay, & Eguía, 2011)

Para el ejercicio de vigilancia se consideraron las tecnologías que actualmente se usan en sistemas de generación con fuentes renovables o que tienen características para hacerlo. De esta manera, se centró la atención en las baterías, los supercondensadores y las bobinas superconductoras.

Baterías

De acuerdo con (Tarascon & Armand, 2010), "*una batería es un sistema de almacenamiento de energía a través de procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces. La energía eléctrica en la batería es almacenada o liberada a través de reacciones electroquímicas que transportan electrones entre electrodos, que se encuentran interiormente conectados por un electrolito para llevar cabo reacciones específicas de reducción/oxidación*." Las baterías cuentan con parámetros eléctricos que facilitan su selección de acuerdo con la aplicación deseada, siendo los más relevantes:

1. La tensión Nominal o de operación (Voltios)
2. Capacidad Nominal de la Batería (Amperios-Hora)
3. Auto-descarga (en porcentaje)
4. Vida Útil (Años)
5. Curva de profundidad de descarga

Con base en los dos primeros parámetros, es posible verificar cuanta energía es capaz de almacenar dicha batería y qué parámetros corriente-tensión es capaz de soportar para su correcta operación en los diferentes sistemas.

Las baterías más destacadas y utilizadas en sistemas con generación de energías renovables se muestran en la Tabla 8, junto a sus principales características. Uno de los parámetros a resaltar es el nivel de toxicidad y la necesidad de mantenimiento en el caso de las de plomo y níquel, así como las tasas de auto-descarga mensuales que, en el caso de la batería de níquel, pueden alcanzar hasta el 30%. Además, el tiempo de carga de las tecnologías de almacenamiento basadas en baterías está en el rango de horas. Sin embargo, las baterías cuentan con densidades de energía bastante altas, convirtiéndolas en el centro de la mayoría de las necesidades.

Tabla 8. Características de los diferentes tipos de baterías

Especificaciones	Pb	Ni-MH	Ni-Cd	Li-ion (Cobalto)	Li-ion (Manganeso)	Li-ion (Fosfato)
Densidad de Energía (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Resistencia Interna (m Ω)	<100 12V	100-200 6V	200-300 6V	150-300 7.2V	25-75 Por Celda	25-50 Por Ceda
Ciclo de Vida (80% descarga)	200-300	1.000	300-500	500-1.000	500-1.000	1.000-2.000
Tiempo de Carga	8-16hr	1h	2-4hr	2-4hr	1hr o menos	1hr o menos
Auto-descarga/mes	5%	20%	30%	<10%	No Aplica	No Aplica
Tensión Nominal de la Celda	2V	1,2V	1,2V	3,6V	3,8V	3,3V
Mantenimiento	3-6 meses	30-60 días	60-90 días	No requiere	No requiere	No requiere
Toxicidad	Muy Alta	Muy Alta	Baja	Baja	No Aplica	No Aplica

Fuente: Janson (2014)

Super/Ultracapacitores

Los Supercondensadores son dispositivos usados para el almacenamiento de energía, similar a un capacitor tradicional, con la diferencia de que la carga no se acumula en dos conductores, sino en la interfaz entre la superficie de un conductor y una solución electrolítica. Los electrodos del supercondensador están hechos con materiales de superficie altamente efectivos, tales como aerogel poroso o carbono poroso, lo que proporciona al supercondensador una mayor capacidad de almacenar cargas eléctricas (Abbey & Joos, 2007).

Los supercondensadores cuentan con parámetros eléctricos equivalentes a los de los capacitores tradicionales que se utilizan para dimensionar el sistema de almacenamiento. Entre estos se encuentran:

1. La Capacitancia
2. La Tensión Nominal
3. La Resistencia Serie Equivalente
4. La Energía Almacenada

Los supercondensadores, al igual que las baterías, se clasifican de acuerdo a su material de composición. Principalmente corresponden a carbón, material poroso y biodegradable que proporciona un área mayor, lo que se refleja en una mayor capacitancia. El carbón posee una estructura que lo hace moldeable en diferentes formas pudiéndose encontrar en fibras, partículas y aerogel. La Tabla 9 resume las características de los supercondensadores.

Tabla 9. Características eléctricas de los supercondensadores por material

Tipos de Compuestos	Nombre del dispositivo por Fabricante	Rango de Capacitancia (F)	Rango de Voltaje (v)	Densidad de Energía (Wh/kg)	Densidad de Potencia (KW/Kg)
Fibras de Carbono	Boostcap	4-3.000	2,5-2,7	0,868-5,52	1,35-26
	Boostcap Modulen	52-500	15-125	1,9-3,98	4,4-14
Carbón Particulado	Electric Double Layer Capacitor Module	58-500	13,8-210	1,5-4,5	1
	Electric Double Layer Capacitor	350-3200	2,3-2,5	1,5-4,5	1
	EDLC Pseudocapacitor Module	1.5-5000	2,3-340	1,67-8,75	5,2
	Supecapacitor	0,075-1,8	2,3-5,5	0,05-10	0,01-10,3
	UPS Type	2,86-0,23	0,8-200	0,556-2,778	0,9-1
	Super Capacitors	0,022-100	2,7-7,0	0,5	0,005-0,01
	Gdd Capacitor	800-2.000	3,0	3,1-4,4	0,127-0,392
Aerogel de Carbono	Power Stor	0,22-100	2,5-5,5	0,4	-
	SuperCap	100-3.000	2,5-14	1,5-4,7	0,25
Híbridos	Hybrid (DSCC) Capacitor Banks Capattery	0,001-1,5	5,5-125	0,1	30
	Capacitors Modules	100-500	16-52	2,58-7,3	38-42

Fuente: Guerrero, Romero, Barrero , Milanés, & González (2009)

Bobinas Superconductoras

"La bobina superconductora es una tecnología de Almacenamiento de Energía en forma de campo magnético, el cual es creado por el flujo de una corriente DC. El conductor que lleva la corriente opera a una temperatura criogénica donde se convierte en un superconductor, por lo que virtualmente no tiene pérdidas resistivas, produciendo el campo magnético" (Buckles & Hassenzahl, 2000). Sus parámetros físicos y eléctricos son:

1. Energía Almacenada
2. Potencia Máxima
3. Corriente Máxima
4. Tiempo de Descarga
5. Densidad de Campo Máximo
6. Diámetro medio de la Bobina

Las bobinas superconductoras se pueden clasificar en dos grupos: de bajas temperaturas (LTS, por sus siglas en inglés), y de alta temperatura (HTS, por sus siglas en inglés). La tecnología LTS es más madura y comercial, mientras el HTS se encuentra actualmente en desarrollo. Los dispositivos SMES en el rango de 0,1-10 MW han sido usados comercialmente, mientras que los sistemas SMES con 100 MW podrían estar disponibles en la próxima década. Las características de SMES incluyen una densidad de potencia relativamente alta, tiempo de respuesta rápido (nivel de milisegundo), muy rápido tiempo de descarga total (menos de 1 min), alta eficiencia de ciclo (95-98%) y larga vida (hasta 30 años). Por otra parte, la bobina es sensible a pequeñas variaciones de temperatura que pueden causar la pérdida de energía (Luo, Wang, Dooner, & Clarke, 2015).

En la Tabla 10 se presenta, a manera de resumen, una comparación de las principales características, ventajas y desventajas de los tres tipos de sistemas de almacenamiento de energía evaluados.

Tabla 10. Características, ventajas y desventajas de las tecnologías de almacenamiento evaluadas.

Tipo de tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Baterías	Eficiencia (%): 60-80 Densidad de Energía (Wh/kg): 20-200 Densidad de Potencia (W/kg): 25-1.000 Tiempo de Rta (ms): 30 Ciclo de vida (años): 200-2.000 Costo ($/kWh): 150-1.300	- Bajos costos en comparación con otras tecnologías - Gran capacidad de almacenamiento - Menor tamaño	- Susceptibles a altas temperaturas - Vida útil menor - Tiempo de carga mayor - Residuos tóxicos para el medio ambiente
Super / Ultracapacitores	Eficiencia (%): 95 Densidad de Energía (Wh/kg): <50 Densidad de Potencia (W/kg): 4.000 Tiempo de Rta (ms): 5 Ciclo de vida (años): >50.000 Costo ($/kWh): 250-350	- Amigable con el medio ambiente - Alta densidad de energía - Mayor vida útil - Resiste altas temperaturas	- Baja densidad de energía - Mayor tamaño, comparado con las baterías - Altos costos

Tipo de tecnología	Características	Ventajas	Desventajas
Bobinas Superconductoras	Eficiencia (%): 95-98 Densidad de Energía (Wh/kg): 30-100 Densidad de Potencia (W/kg): 1e4-1e5 Tiempo de Rta (ms): 5 Ciclo de vida (años): 1e6 Costo ($/kWh): Alto	- Amigable con el medio ambiente - Alta densidad de energía - Alta densidad de potencia	- Menores tiempos de carga y descarga - Bajas temperaturas de operación - Altos costos

Fuente: Elaboración con base en Luo, Wang, Dooner, & Clarke (2015); Guerrero M. R. (2009)

Sistemas de Almacenamiento de Energía Híbrido

Los sistemas híbridos basados principalmente en dos tipos de tecnologías son bastante prometedores, ya que los dispositivos de almacenamiento tienen características complementarias de densidad de energía y de potencia. Tecnologías como las baterías, que pueden almacenar grandes cantidades de energía, tienen la desventaja de ser sensibles a cambios bruscos de corriente; por su parte, los supercondensadores poseen una densidad de potencia más alta, siendo capaces de resistir esos picos de corriente, por lo cual, al realizar el híbrido de estas tecnologías, los supercondensadores capturan el pico de potencia, mejorando la vida útil de las baterías.

Los sistemas de almacenamiento de energía híbrido que se han implementado recientemente en microredes, son sistemas basados en tecnologías Batería/Batería (B-B) y Baterías/Supercondensador (S-B), siendo este último el más prometedor debido a su complementariedad, reuniendo características óptimas tanto en capacidad de almacenamiento cómo en robustez del sistema, reduciendo el mantenimiento y alargando la vida útil de los dispositivos que lo componen. El sistema de almacenamiento Híbrido S-B, es adecuado para las condiciones de generación con fuentes renovables, que cuentan con alta intermitencia del recurso solar y eólico, siendo los sistemas convencionales de almacenamiento limitados y obsoletos para cumplir con todas las necesidades que cuenta un sistema de generación basado en energías renovables (Kyriakopoulosa & Arabatzisb, 2016).

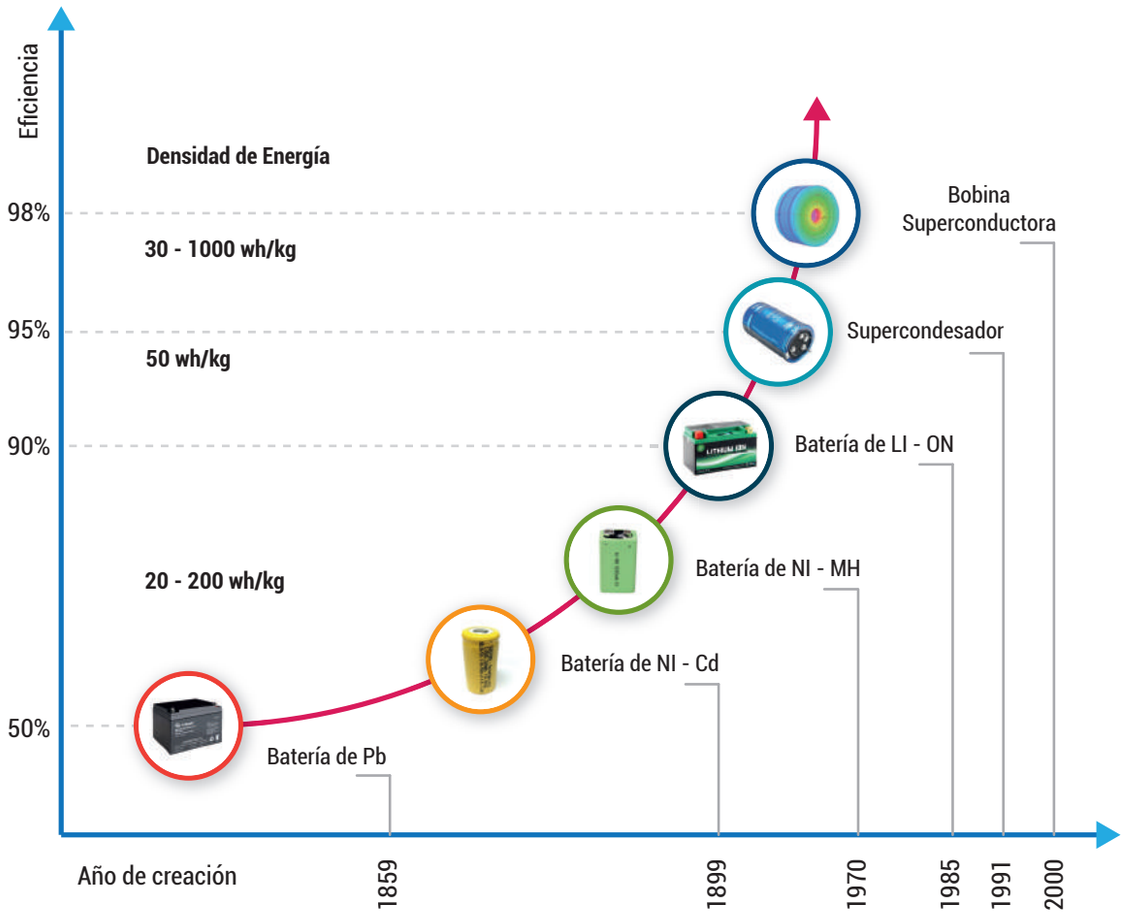
5.3. El mercado de tecnologías de almacenamiento y sus oportunidades para Colombia

El almacenamiento de energía a gran escala es un factor relevante para lograr una mejor gestión de la demanda y del suministro de energía (almacenamiento en horas valle e inyección en horas pico), evitando la volatilidad de los precios en el mercado cuando hay escasez de generación. Más allá de esto, el almacenamiento de energía puede convertirse en un nuevo eslabón de la cadena de suministro eléctrico, reduciendo la necesidad de los sistemas de transmisión, y de los costos de infraestructura en los sistemas de potencia (Berrada, Loudiyi, & Zorkani, 2016).

La Ilustración 21 resume la evolución de las tecnologías de almacenamiento para energías renovables. La gama incluye a las baterías, los supercondensadores y las bobinas superconductoras. Como se observa, los cambios tecnológicos han logrado mejoras notables en eficiencia y los tiempos de carga y descarga, permitiendo almacenar energía a una mayor capacidad. En la actualidad todas las soluciones continúan en el mercado o se encuentran en proceso de entrada. No es muy probable que una única tecnología se posicione, dado cada una responde a diferentes necesidades y muestran balances costo-económicos específicos para distintas aplicaciones.

Las baterías, aunque cuentan con una alta densidad de energía, son dispositivos con baja capacidad para soportar picos de corriente, característica que ha venido mejorando con el tiempo. Por su parte, las bobinas superconductoras y los supercondensadores son dispositivos que presentan características que los hacen más amigables con el medio ambiente y poseen eficiencias cercanas al 100%. Finalmente, los sistemas de almacenamiento híbridos se presentan como una alternativa óptima para obtener las mejores características de cada una de las diferentes tecnologías de almacenamiento, a un costo razonable.

Ilustración 21. Tendencias en el almacenamiento de energía



Fuente: Elaboración propia con base en Guerrero, Romero, Barrero , Milanés, & González (2009); Janson (2014)

La masificación de la tecnología, requiere del desarrollo de aspectos anexos. Por un lado, el almacenamiento de energía debe contar con un sistema de control y comunicaciones que gestione la información de la generación y el estado de carga de los dispositivos almacenadores de energía. De igual manera, la regulación del mercado del almacenamiento de energía es la clave fundamental para su implementación a corto plazo.

La importancia de la temática ha llevado a que países como China, Estados Unidos, India y Alemania hayan generado alianzas centradas en posicionar el mercado del almacenamiento de energía, buscando lograr penetraciones mucho más altas de energía renovable en todo el mundo.

El estudio de los modelos de negocio para el mercado del almacenamiento es fundamental para explorar las oportunidades de este mercado en Colombia. El almacenamiento de energía es recomendable

especialmente para Zonas no Interconectadas (ZNI) o remotas del país, las cuales cuentan con alto potencial de generación renovable, y donde la transmisión podría resultar de muy alto costo. De otra parte, las grandes reservas de almacenamiento podrían permitir ampliar las fronteras del mercado energético a países vecinos.

5.4. Tendencias tecnológicas en Sistemas de Transmisión de energía eléctrica para grandes cantidades de energía generada a partir de fuentes renovables

Dentro de un sistema de potencia, los sistemas de transmisión se encargan de transportar grandes cantidades de energía desde las estaciones elevadoras en las centrales de generación hasta las estaciones de transformación en los centros de distribución. La transmisión se realiza en su mayoría en corriente alterna (AC), debido a que las principales fuentes de generación existentes producen este tipo de energía.

La tecnología actual en transmisión se enfrenta a retos cuando se trata de generación con fuentes renovables, debido a aspectos como la generación en corriente directa (DC) de los paneles solares, o la generación en AC de los parques eólicos que no tienen una frecuencia constante. A lo anterior se suman las grandes distancias a las que se encuentran los parques de generación de los centros de consumo, (por ejemplo, en sistemas off shore), o la intermitencia en la generación con estas fuentes.

Por los aspectos mencionados, los sistemas convencionales de transmisión actuales no han sido considerados como los más adecuados para los sistemas de generación basados en fuentes renovables. Para dar atención a esta problemática, a nivel mundial se han empleado principalmente sistemas de transmisión en corriente directa (DC), sobre los que se investigan nuevas configuraciones para mejorar su desempeño. Esta tecnología permite mejorar la eficiencia del sistema, al habilitar el transporte a grandes distancias con bajos costos y pérdidas.

Desde el punto de vista de la generación de energías renovables, la transmisión y el almacenamiento pueden verse como aspectos complementarios que en conjunto deben permitir la disponibilidad de energía para el usuario final en el momento en que sea requerida. De esta manera, una opción para el abastecimiento de la energía producida con renovables es su transporte inmediato a través de sistemas robustos de transmisión, de manera similar a los sistemas actuales. Alternativamente, los sistemas de almacenamiento pueden permitir que la energía producida en picos no sea utilizada inmediatamente, evitando sistemas robustos de transmisión y permitiendo su uso en horas en que se tengan mayores necesidades de consumo.

Teniendo en cuenta este contexto, se desarrolló un ejercicio de vigilancia centrado en sistemas de transmisión para energía obtenida de fuentes renovables que, complementando al ejercicio en almacenamiento, permita evaluar soluciones para el abastecimiento oportuno de la demanda. A continuación, se presentan las preguntas y resultados de este proceso.

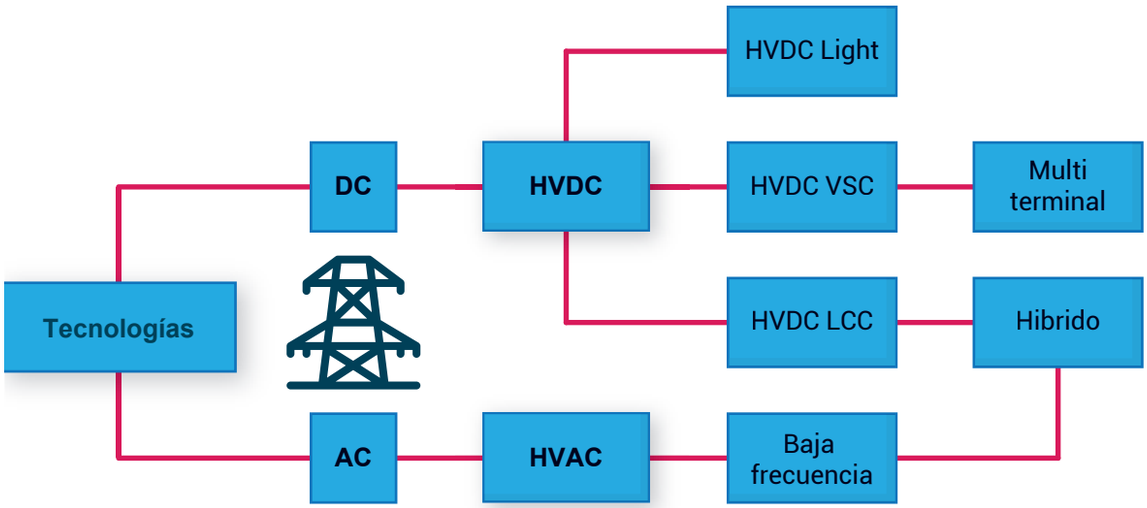
¿Qué tecnologías de transmisión se están utilizando o desarrollando para su uso en sistemas de generación con alta participación de fuentes renovables?

Los sistemas HVDC (Corriente Directa en Alto Voltaje) se perfilan como la principal opción para la transmisión de energía a grandes distancias y la conexión de sistemas asíncronos, pues ofrecen una mayor confiabilidad, tanto económica como técnica. Estos sistemas ofrecen un menor costo en comparación con los sistemas AC convencionales, conforme aumenta la distancia de transporte. De esta manera,

disminuyen las pérdidas y eliminan el problema de la compensación de energía reactiva, que es una de las principales razones de pérdidas en los sistemas AC. Por otra parte, los sistemas HVDC ofrecen una mejor alternativa para la conexión en generación eólica, teniendo en cuenta que esta no puede mantener una frecuencia fija, dado que las corrientes de aire no son constantes.

En la Ilustración 22 se muestran las tecnologías usadas en la transmisión de energía en sistemas con alta participación de fuentes renovables. Se observa una gran tendencia a la tecnología HVDC en sus diferentes configuraciones. La configuración HVDC multi – terminal se perfila como la tecnología más usada, no solo en sistemas con energía renovable sino en sistemas convencionales.

Ilustración 22. Tipos de sistemas de transmisión

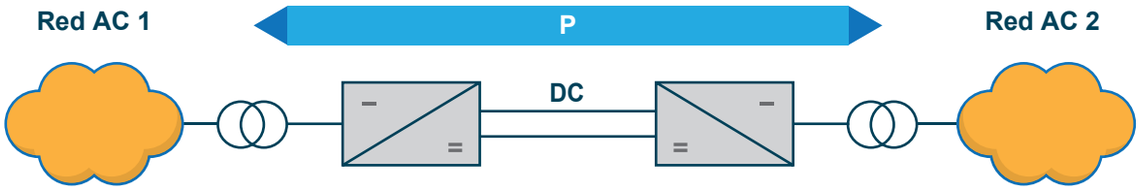


Fuente: Elaboración propia

Sistemas de transmisión HVDC

Los sistemas HVDC (High Voltage Direct Current o Alta Tensión en Corriente Continua) son utilizados, principalmente, en la transmisión de grandes cantidades de energía a largas distancias. Permiten la conexión entre dos puntos, primordialmente dos redes AC, por medio del uso de inversores, que se conectan a cada uno a los transformadores de su respectiva red, con el fin de convertir la energía AC en DC y posteriormente transmitirla. El proceso se esquematiza en Ilustración 23.

Ilustración 23. Configuración básica de un sistema HVDC.



Fuente: Dorn, Gambach, & Retzmann (2012).

De acuerdo con MacLeod et. al (2010) las formas de conexión que presentan los sistemas de transmisión HVDC son: Conexión Back to Back, Point to Point y de cable submarino, que pueden presentar diferentes características dependiendo de los requerimientos (McLeod, Barker, & Kirby, 2010).

En la Tabla 11 se describen las características de cada tipo de conexión, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellas.

Tabla 11. Tipos de conexión de los sistemas de transmisión HVDC

Tipo de conexión	Ventajas	Desventajas
Conexión Back to Back Consiste en ubicar y conectar las estaciones rectificadoras e inversoras, una detrás de la otra, de tal manera que la parte posterior de las mismas queden conectas entre sí.	En la detección de caídas repentinas de frecuencia el esquema automáticamente reprograma la potencia, para proporcionar el soporte de energía necesario para que el sistema AC no se vea afectado. La conexión sincrónica de sistemas que operan a diferentes frecuencias.	La conexión de redes a través de cuerpos de agua. No presenta los impactos negativos de la transmisión en AC como la perdida por distancia. Las redes interconectadas permanecen inmunes a cualquier perturbación presente en la red contraria.
Conexión Point to Point Permite conectar dos puntos a grandes distancias mediante los métodos convencionales (con torres eléctricas), contando con dos inversores que permiten la conexión de la red DC con las redes AC.	Permite una conexión a más alto voltaje en los sistemas HVDC. Mayor distancia entre las redes a conectar. Mejor control de la potencia reactiva, y de la distorsión de armónicos.	
Conexión de cable submarino Su funcionamiento está dado para la conexión de dos redes que están separadas por cuerpos de aguas, siendo muy similar al de la conexión Point to Point, con la diferencia de que los cables van debajo de la superficie y enterrados en el fondo.	La conexión de redes a través de cuerpos de agua. No presenta los impactos negativos de la transmisión en AC como la perdida por distancia. Las redes interconectadas permanecen inmunes a cualquier perturbación presente en la red contraria.	

Fuente: Elaboración propia con base en McLeod, Barker, & Kirby (2010)

Configuración de los sistemas de transmisión

Además de las conexiones empleadas en la transmisión HVDC, la configuración de los sistemas tiene implicaciones sobre las posibles aplicaciones y la eficiencia asociada. En la Tabla 12 se presentan los diferentes tipos de configuración aplicables a los sistemas HVDC y las ventajas y desventajas de cada uno de estos.

Dentro de las opciones mostradas, los convertidores de línea conmutada han sido tradicionalmente la mejor opción para grandes cantidades de potencia, de 1000 a 2000 megavatios (Dorn, Gambach, & Retzmann, 2012). Por su parte, el sistema HVDC VSC (*Voltage Sourced Converter*) es un gran avance en materia de transmisión de energía, gracias al desarrollo del convertidor de fuente de voltaje que permite una mejor conexión a la red AC asíncrona, conexión de fuentes aisladas, conexión a la red de generación

distribuida, control simple y no requerir de un sistema de retroalimentación de corriente secundario (Fu, Du, Cao, & Wang, 2015).

Ahondando en la generación con fuentes renovables, los sistemas HVDC multi - terminales (MTDC) se han creado para la interconexión de parques eólicos y permiten, entre otros aspectos, la integración con la red de transmisión mediante la conexión de varios puntos sin afectar drásticamente la estabilidad del sistema.

Finalmente, las tecnologías HDVC light y HVDC Híbridos, recogen elementos de las tecnologías anteriores y se han perfilado como las más útiles para sistemas de generación con renovables. La primera de estas ha ganado bastante popularidad gracias a que ofrece una gran flexibilidad y una mejor capacidad de control cuando es necesaria una compensación de potencia reactiva (Bodin, 2011). Finalmente, el sistema híbrido se perfila como una de las mejores opciones para la integración de las energías renovables, gracias a que dispone de un convertidor VSC en un terminal y un convertidor conmutado de línea LCC en la otra terminal, lo que permite una mejor integración con sistemas muli-terminales (Zeng, Xu, Yao, & Finney, 2015).

Tabla 12. Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de Configuración HVDC

Configuración	Ventajas	Desventajas
HVDC LCC Han sido la mejor opción, para la transmisión de grandes cantidades de potencia, de 1000 a 2000 megavatios, gracias a que las pérdidas en los convertidores son de aproximadamente 0,8%.	-Transporte de grandes cantidades de potencia. -Perdidas en el convertidor de 0,8%.	-Necesidad de sistemas AC relativamente fuertes para operar. -Son menos convenientes que los sistemas VSC para parques eólicos en el mar. -Necesidad de compensación de potencia reactiva lateral. -Utilizan cables impregnados pesados y costosos.
HVDC VSC Gracias al desarrollo del convertidor de fuente de voltaje, permite una mejor conexión a la red AC asíncrona, conexión de fuentes aisladas, conexión a la red de generación distribuida, control simple, no presenta la necesidad de recurrir a un sistema de retroalimentación de corriente secundario.	-Control simple. -Sin control de retroalimentación secundaria. -Control en el momento de sobre corriente en cualquier instante de tiempo.	-Respuesta dinámica lenta. -Fácil de influenciar por los paramentos de sistema. -No transporta grandes cantidades de potencia.

Configuración	Ventajas	Desventajas
HVDC Multi-terminales (MTDC) La tecnología de corriente de alto voltaje (HVDC) es la más utilizada para conectar parques eólicos, entre sí, y al sistema de transmisión, formando así una red MTDC multi - terminal.	-Transmisión con varios puntos de conexión. -Estabilidad del sistema de transmisión. -Gran capacidad de trasmisión. -Alta volatilidad y amplia distribución. -Puede seguir funcionando sin una de las estaciones convertidoras VSC (Cm). -Menores pérdidas en comparación con los sistemas AC	-Tiene pérdidas considerables en el convertidor de 2% en comparación con los sistemas HVDC LCC de 0,8%. -Un control más complejo en comparación con otros sistemas HVDC. -En caso de falla, reestablecer el sistema tomaría bastante tiempo.
HVDC Ligth Utilizan una tecnología de convertidor de fuente de voltaje VSC, con un autoconmutador IGBT, una válvula de convertidor que funciona a manera de interruptor para conmutar adecuadamente, y convertir la energía eléctrica de AC a DC o viceversa utilizando dos estaciones convertidoras con una conexión en DC que las une, con el objetivo de controlar el flujo de energía entre ellas, debido a que una estación funciona como un inversor y la otra como un rectificador. - El transistor IGBT puede apagar una corriente en cualquier momento. - Permite la compensación de energía reactiva en el lado AC de la red de transmisión. - Bajas perdidas.		
HVDC Híbridos Teniendo en cuenta las ventajas que presenta cada uno de los sistemas HVDC mencionados anteriormente, el sistema hibrido se perfila como una de las mejores opciones para la integración de las energías renovables, gracias a que dispone de un convertidor VSC en un terminal y un convertidor conmutado de línea LCC en la otra terminal que permite una mejor integración con sistemas muli-terminales.	- Interconexión asincrónica, que permite conectar redes de transmisión AC de 50 Hz y de 60 Hz. - Menor impacto ambiental. - Cruce de largas distancias.	

Fuente: Elaboración propia con base en Fu, Du, Cao, & Wang (2015); Shi, Chen, & Cai (2011)

5.4.1. HVDC como tendencia central en transmisión para sistemas con generación a partir de fuentes renovables

La tecnología que se impone en los sistemas de transmisión para la integración de las fuentes de energía renovables a los sistemas de transporte son los sistemas de transmisión en Alto Voltaje y Corriente Continua, HVDC. Estos sistemas son especialmente viables en materia de costos para largas distancia, reduciendo costos por construcción de línea y reduciendo las pérdidas al no necesitar compensación de energía reactiva. Para cortas distancias los sistemas en AC continúan siendo convenientes, reduciendo drásticamente su precio en comparación con los sistemas HVDC.

Según la dinámica de publicaciones y la cantidad de proyectos de generación con energías renovables países como Alemania, China y Estados Unidos son los líderes en la integración de estas fuentes de generación al sistema de transmisión. Dentro de estos, China es el ejemplo más notable, debido a su amplia inversión, y a la gran apuesta de cambiar su matriz energética en los próximos años.

5.5. Aprovechamiento de energía solar térmica para calentamiento y enfriamiento

Además del desarrollo de tecnologías para energías renovables, la transición energética presenta numerosos desafíos en la reconfiguración de los usos finales de energía. Dentro de estos, la producción de calor demanda alrededor del 50% de la energía mundial, siendo el sector industrial su mayor consumidor. Debido a su importancia, el estudio de fuentes alternativas de energía para este uso final impactaría significativamente la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y tendría implicaciones en otras dimensiones del desarrollo sostenible.

Como una alternativa a los procesos tradicionales, se presenta la energía solar térmica, que ha sido usada por siglos para la producción de calor, pero solo en los últimos treinta años ha ganado popularidad. Actualmente presenta un notable desarrollo comercial y es una de las tecnologías de mayor eficiencia y confiabilidad disponibles en el mercado. Estos sistemas brindan un amplio número de aplicaciones para el sector residencial y comercial tales como acondicionamiento de piscinas, calentamiento en procesos industriales, refrigeración y destilación (Green Peace, 2015). Las tecnologías se encuentran disponibles en el mercado y en algunos países, como Chipre e Israel, han tenido una penetración de más de un 90% en el sector residencial (Burch & et. al., 2014).

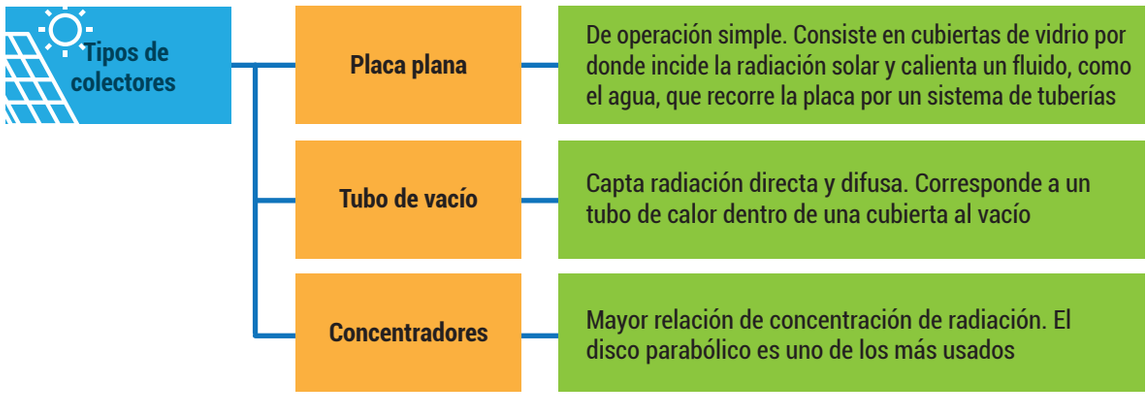
Bajo esta premisa, el presente ejercicio evalúa el estado de arte de las tecnologías de calentamiento y enfriamiento que empleen energía solar térmica, para la verificación de implicaciones en el contexto colombiano.

5.5.1. Tendencias en tecnologías de calentamiento y enfriamiento solar térmico

¿Cuáles son las principales características de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de calentamiento?

Los principales sistemas de energía solar térmica utilizan un fluido caliente en usos directos de calentamiento de agua para suplir demandas térmicas, o en intercambiadores de calor para ser empleado en otras aplicaciones finales (Burch & et. al., 2014). El colector solar es el principal elemento en los sistemas solar térmico (tanto para calentamiento como refrigeración) y se encarga de concentrar los rayos del sol para aumentar la temperatura de un fluido de trabajo. Se destacan tres tipos principalmente: colector de placa plana (FPC), tubo de vacío y concentradores. La elección del colector solar determina la eficiencia del sistema, la cual se define como el cociente entre la energía absorbida y la radiación solar captada (Bataineh & Alrifai, 2015). El mercado actual de colectores solares se encuentra liderado por tecnologías que emplean el colector de canal parabólico, tanto en términos de proyectos como en capacidad instalada (85% de la capacidad) (Khetarpal, 2016). En la Ilustración 24 se presentan los tipos de colectores y sus principales características.

Ilustración 24. Tipos de colectores y sus características principales



Fuente: Elaboración propia

Sistemas de Calentamiento Solar Térmico

La principal aplicación de los sistemas para calentamiento solar térmico es la calefacción de agua para uso doméstico. De acuerdo con las condiciones y configuraciones de estos sistemas, las necesidades térmicas de un edificio pueden ser suplidas con energía solar (Green Peace, 2015). Se tienen dos tipos de sistemas solares térmicos. Por un lado, los de bajas temperaturas, que emplean colectores de placa plana y tubo de vacío. Las principales aplicaciones se relacionan con el calentamiento de agua, espacios y piscinas (Khetarpal, 2016).

Por otro lado, los sistemas de altas temperaturas se basan en dos métodos de colección solar. El primero concentra la radiación solar en un eje y la enfoca a una línea, alcanzando temperaturas entre 100-550°C, son económicos y fáciles de operar. El segundo concentra los rayos solares en dos ejes y lo enfoca en un punto, con lo que se obtienen temperaturas mucho más altas (mayores a 800°C), por esto se emplean, en mayor medida, en aplicaciones industriales y para generación de electricidad.

En la Ilustración 25, se presenta un árbol temático de las tecnologías de calentamiento basadas en energía solar térmica y en la Ilustración 26 las ventajas y desventajas de cada tecnología.

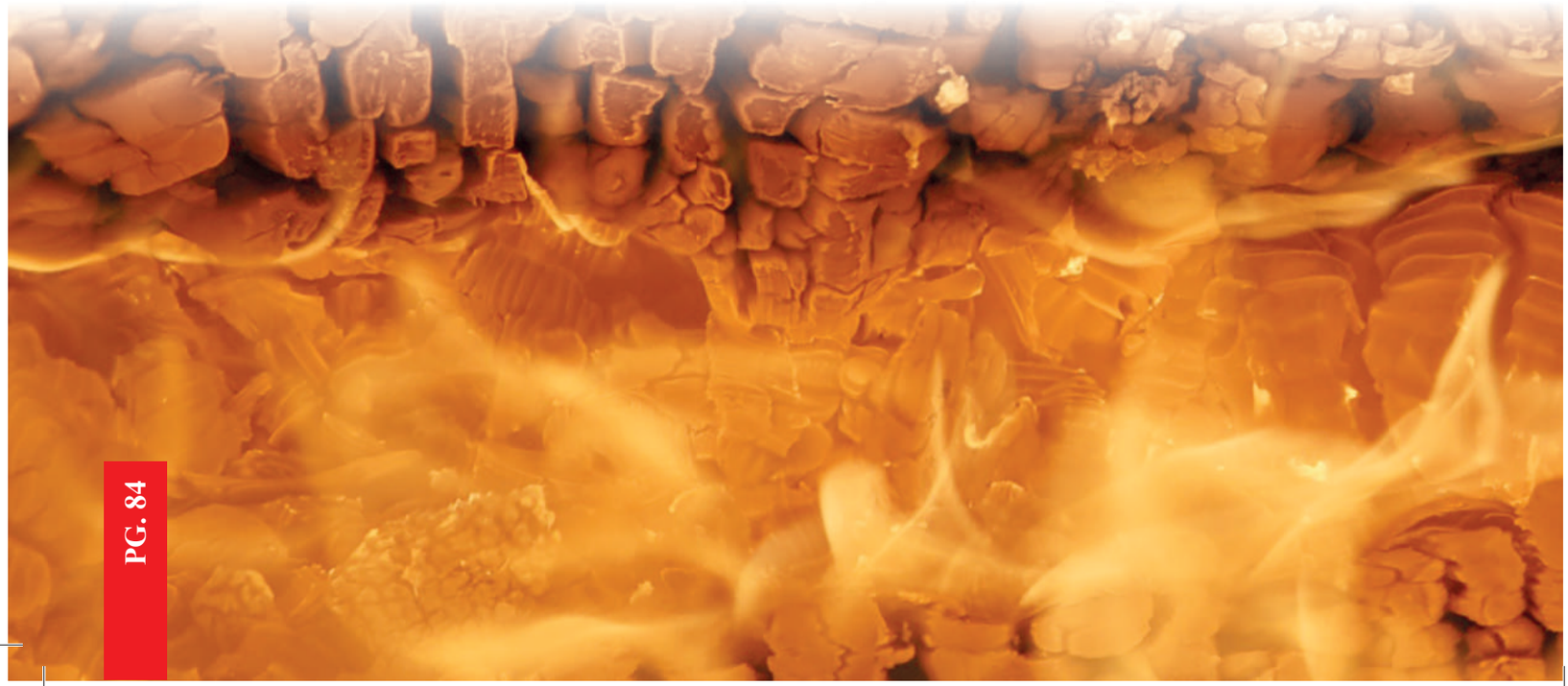
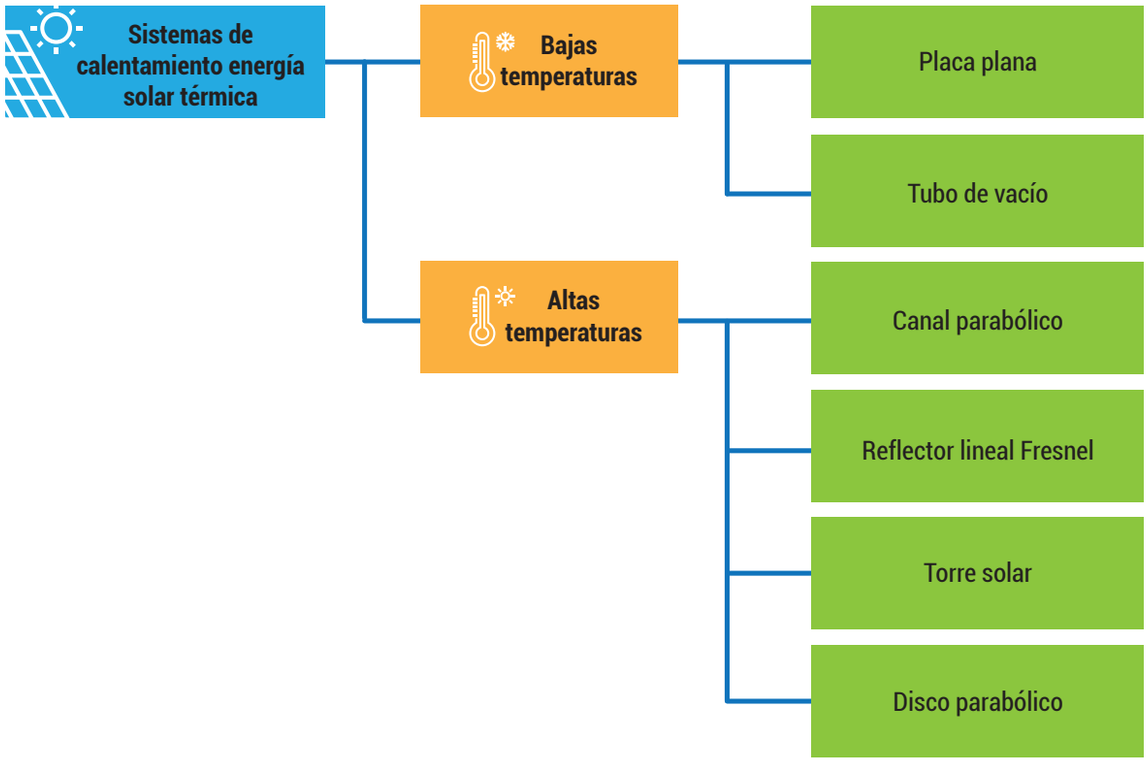


Ilustración 25.Tipos de sistemas de calentamiento solar térmico



Fuente: Elaboración propia

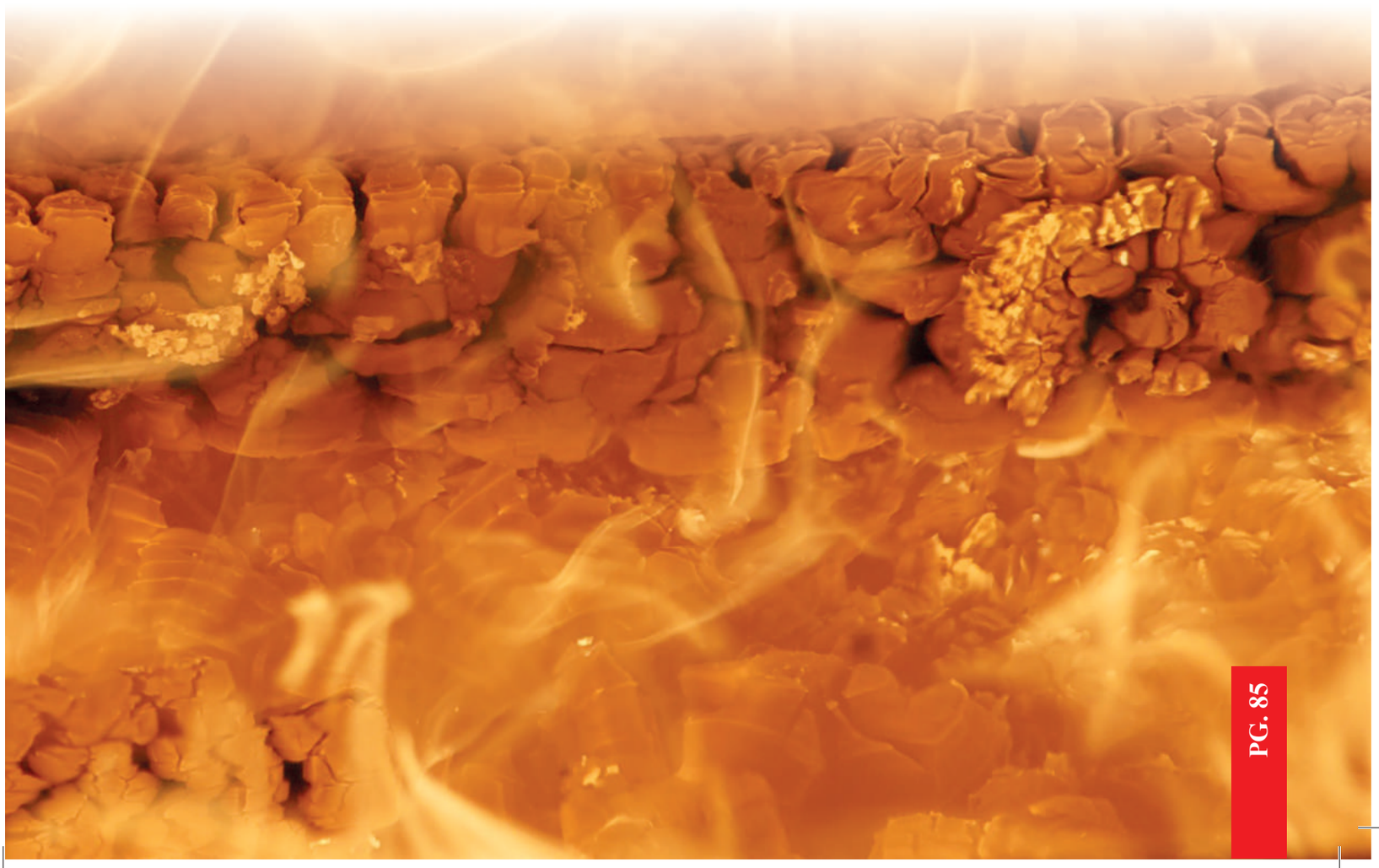


Ilustración 26. Características y ventajas de los tipos de Sistemas de Calentamiento solar térmico

Tecnologías	Características	Ventajas
Canal parabólico (PTC)	Lámina de material reflectivo, de forma parabólica, con un tubo de metal negro, cubierto de vidrio para evitar pérdidas, puesto en la línea focal para recibir los rayos solares captados.	En la actualidad es la tecnología que cuenta con mayor experiencia operativa y comercial
Reflector lineal Fresnel	Concentración de rayos solares a través de espejos planos o ligeramente curvos, ubicados a diferentes ángulos hacia un receptor fijo lineal, sobre una torre.	Utiliza reflectores mucho más baratos comparados con los de vidrio parabólico, así como menores requerimientos estructurales
Torre solar (Colector de heliostato)	Concentra valores extremadamente altos de radiación solar, reflejados hasta un objetivo o receptor común, mediante espejos cóncavos.	Se obtienen altas cantidades de energía térmica.Es altamente eficiente tanto en la concentración de energía solar, como en la conversión a energía eléctrica.
Reflector de disco parabólico	Los rayos se colectan en dos ejes, concentrando la energía solar en un receptor localizado en el punto focal de un disco.	Es altamente eficiente como sistema de colección de rayos solares, así como para sistemas de absorción de energía térmica y generación de energía eléctrica.

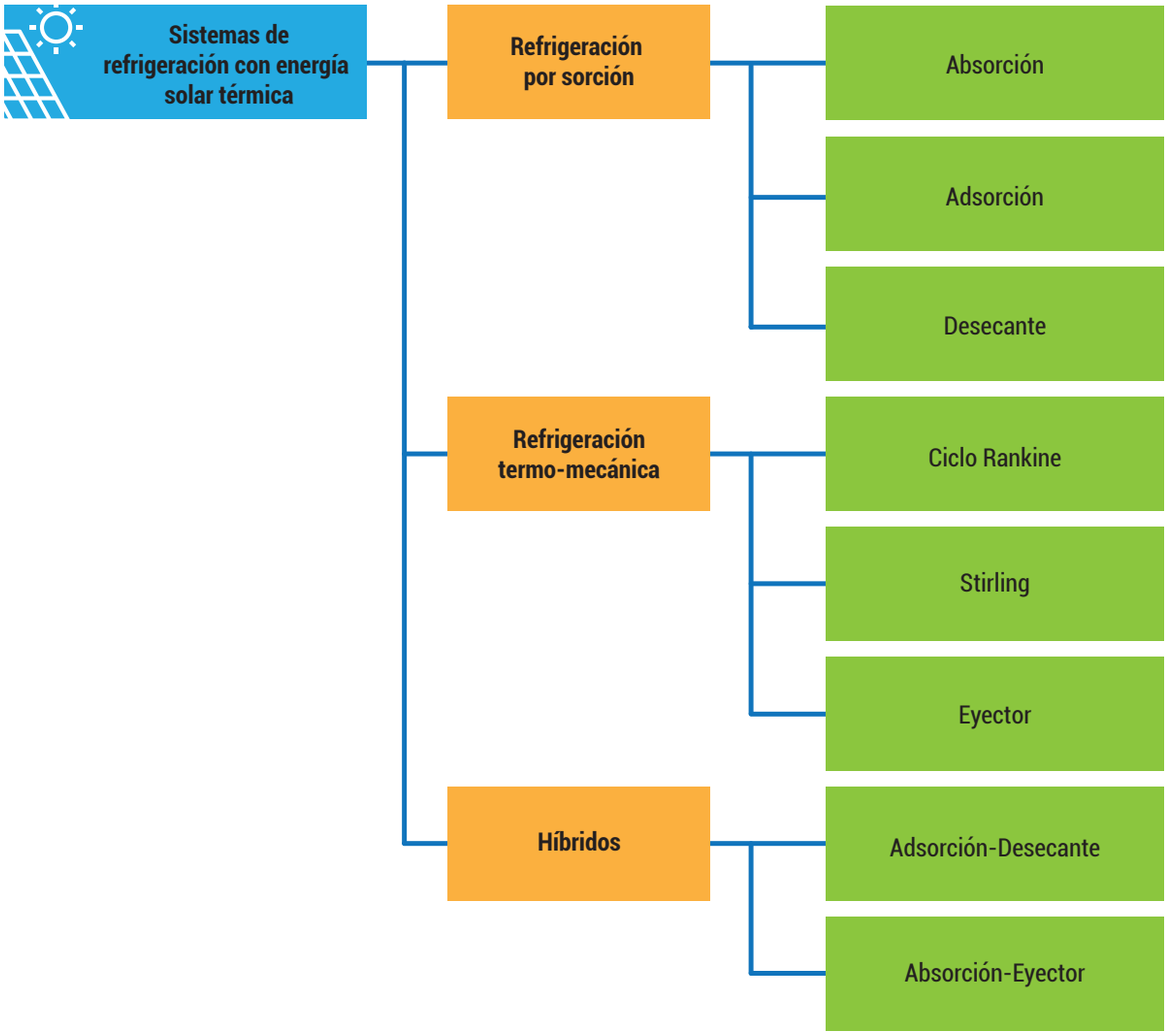
Fuente: Elaboración propia

¿Cuáles son las principales características de las tecnologías de aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de refrigeración?

Sistemas de Refrigeración Solar Térmica

Los diferentes sistemas de tecnologías que emplean la energía solar térmica para refrigeración se clasifican de acuerdo a su principio de funcionamiento, como se presenta en la Ilustración 27 (Allouhi, Kousksou, Jamil, Bruel, & Mo, 2015).

Ilustración 27. Sistemas de refrigeración con energía solar térmica



Fuente: Allouhi, Kousksou, Jamil, Bruel, & Mo (2015)

En la Ilustración 28 se presenta un análisis comparativo, en el que se describen algunas ventajas y desventajas, de los principales sistemas de refrigeración solar térmica.

Ilustración 28. Comparación principales tecnologías de refrigeración solar térmica

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
Sistema absorción	- Operación silenciosa - Alta confiabilidad - Facíl implementación	- Alto costo de insatalación y área para sistemas continuos. - Alta temperatura liberada al ambiente.
Sistema adsorción	- Bajo costo de mantenimiento. - No requiere partes movibles. - Bajas temperaturas fuente de calor.	- Bajo COP - Baja conductividad térmica del adsorbente.
Sistema desecante	- Uso de agua. - Baja temperatura liberada al ambiente.	- Se dificulta el diseño a pequeña escala. - Requiere deshumificador.
Eyector	- Bajos costos de operación. - Bajas temperaturas fuente de calor.	- Bajo COP. - Complejo diseño del eyector.

Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Revisión del panorama de la tecnología solar térmica para calentamiento y enfriamiento

Las tecnologías renovables de calentamiento y enfriamiento jugarán un papel fundamental dentro de las opciones viables para sistemas energéticos sostenibles, debido a su alta disponibilidad y posibilidad de actuación descentralizada. La tecnología puede además aportar significativamente en la reducción de emisiones de CO2 por su naturaleza de bajas emisiones, y de esta forma contribuir con los planes y compromisos ambientales de los países en la coyuntura mundial del cambio climático.

La Ilustración 29 resume el panorama de la tecnología estudiada. Se observa que su principal uso es el calentamiento de agua residencial, siendo más empleados los colectores de placa plana y el de tubo de vacío, preferidos por su facilidad de operación e instalación, así como su madurez tecnológica y de mercado. De otra parte, para las aplicaciones donde se requieren mayores temperaturas, la tecnología de canal parabólico es la de mayor capacidad instalada, no obstante, la de torre solar presenta el mayor potencial en crecimiento.

En el campo de refrigeración, los sistemas solares son una opción adecuada para suplir necesidades energéticas de enfriamiento en los países en desarrollo, al permitir la reducción del consumo eléctrico por

el uso de dispositivos eléctricos como aires acondicionados, aprovechando el recurso solar disponible en las horas en que más se requiere de refrigeración.

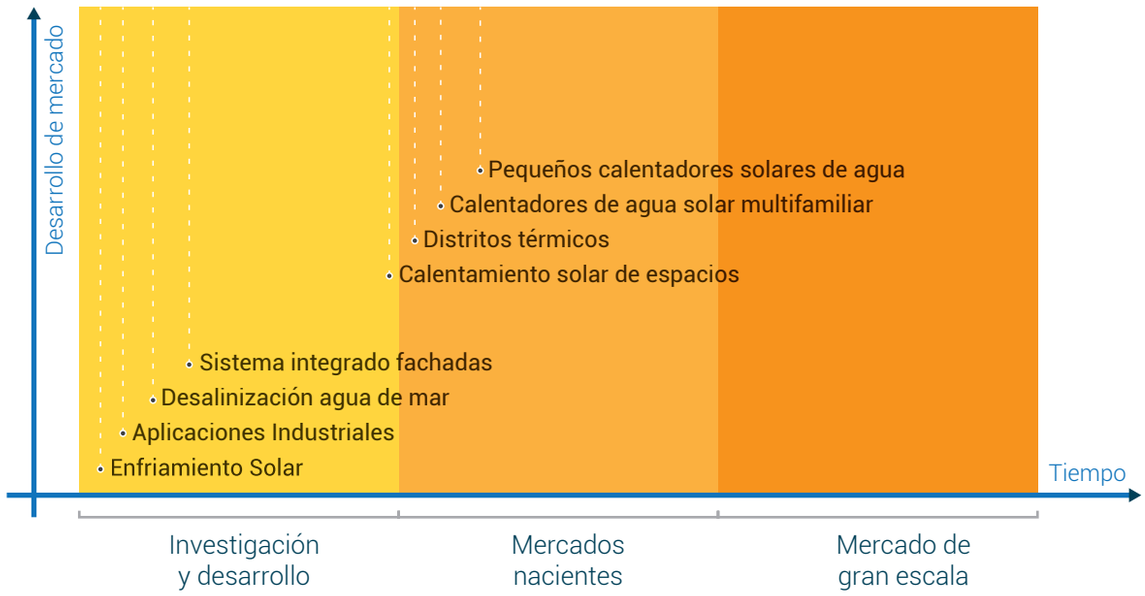
Ilustración 29. Panorama de las tecnologías solar térmica para calentamiento y enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

A pesar de la dificultad de definir los costos de este tipo de sistema, las estimaciones tendenciales de mercados europeos muestran que a 2030 estos podrían disminuir hasta en un 30%, con el aumento del desarrollo tecnológico y de investigación. La Ilustración 30 muestra la madurez de mercado de diferentes aplicaciones del calentamiento solar térmico a 2011, donde se observa que ninguna de ellas se encuentra en una fase de mercado de gran escala. Esta situación se mantiene hoy en día donde el mercado continúa siendo incipiente, incluso en los países de mayor índice de penetración de la tecnología como Dinamarca. En el corto plazo no se pronostican cambios en esta situación, pues en la actualidad no se observan

políticas y marcos normativos que faciliten la entrada rápida y eficiente de los sistemas de calentamiento y enfriamiento solar térmico al mercado.

Ilustración 30. Estado de desarrollo de diferentes usos del calentamiento solar térmico



Fuente: IEA (2011)

5.6. Vehículos eléctricos: Tecnologías de almacenamiento y programas de promoción

La preocupación mundial sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y su impacto en el cambio climático, ha conducido al logro de acuerdos para alcanzar mejores tasas de descarbonización en todos los sectores de la economía. Las acciones regulatorias que se desprenden de dichos acuerdos han permitido la reactivación de la producción del vehículo eléctrico (VE), configurándose como una herramienta efectiva para alcanzar los objetivos climáticos globales, asumiendo uso de energías renovables para su operación.

El sector del transporte es uno de los mayores consumidores de energía en Colombia y sus fuentes actuales son principalmente los combustibles fósiles. El análisis realizado en el PEN 2050 pronostica cambios en las fuentes de energía para este sector y en las tecnologías que puedan ser implementadas en Colombia, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de los instrumentos que pueden contribuir al cumplimiento de los objetivos del PEN 2050, se encuentran los vehículos eléctricos (VE), los cuales están enfocados en el aprovechamiento de las energías renovables. El cambio representa un camino de transición del sector transporte desde los combustibles fósiles hacia fuentes de bajo carbono. Sin embargo, un gran desafío que enfrenta su desarrollo y masificación es encontrar un sistema de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) que se adecúe a los requerimientos de seguridad, tamaño, costo y gestión.

Colombia ya cuenta con bases regulatorias para la implementación de vehículos eléctricos por medio de políticas de incentivos y planes piloto ejecutadas desde el PROURE1, el Plan Energético Nacional, POTs municipales y planes indicativos de la UPME con el objetivo de adoptar esta tecnología en la matriz de consumo energético del país y abogando por el uso racional y eficiente de la energía y en las que se han identificado varias barreras durante su ejecución.

Partiendo de este planteamiento, el ejercicio de vigilancia en vehículos eléctricos se centró en conocer las principales tecnologías de almacenamiento y los programas internacionales para el fomento del uso de VE, con el objetivo de identificar características de infraestructura para la penetración de tecnologías de transporte de bajas y cero emisiones que puedan orientar las decisiones en materia de políticas energéticas en Colombia a corto, mediano y largo plazo.

5.6.1. Tendencias en tecnologías para el almacenamiento de energía en vehículos eléctricos y en programas de promoción

¿Cuáles son las tecnologías en investigación para el almacenamiento de energía en VE, sus ventajas y desventajas?

Los sistemas de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) son dispositivos que almacenan un tipo específico de energía. Actualmente, resultan de gran importancia para respaldar a la red eléctrica, durante horas de congestión y para aprovechar los recursos provenientes de energías renovables, y así reducir las emisiones de CO_2 (Hannan, Hoque, Mohamed, & Ayob, 2017).

De acuerdo a Hannan et al. (2017), los ESS pueden ser, según la energía procesada, de carácter mecánico, electroquímico, químico, eléctrico, térmico e híbrido. La Tabla 13 muestra la clasificación de tecnologías de almacenamiento, donde los más comunes para la aplicación de vehículos eléctricos son los volantes de inercia (FES), las baterías electroquímicas secundarias (BES), las celdas de combustible (FC), los ultracapacitores (UCES), las bobinas magnéticas superconductoras (SMES) y sistemas híbridos (HES).

En el mercado se pueden encontrar distintos tipos de sistemas de almacenamiento, siendo las baterías (principalmente de litio) las más usadas actualmente. No obstante, aún no satisfacen totalmente los requerimientos técnicos de los VE, para proporcionar autonomía en grades distancias, por lo que todavía se están desarrollando mejoras, desde la investigación en ciencia de materiales hasta la consideración de sistemas híbridos que contemplen otros ESS dentro del VE, para suplir necesidades técnicas específicas. La Ilustración 31 muestra los principales sistemas híbridos usados en la actualidad.

1 Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales

Tabla 13. Clasificación de los ESS presentes y en investigación para los VE.

Sistema de Almacenamiento (ESS)	Tipos y Características
Mecánico (MSS)	Flywheel (FES) Dispositivos que almacenan energía cinética por medio de un rotor a gran velocidad, que luego transforma en energía eléctrica, a medida que su velocidad disminuye. Principales ventajas: Alta densidad de energía y potencia, eficiencia mayor al 90%, carga y descarga rápidas, bajo costo y mantenimiento, largo ciclo de vida, no produce emisiones de GEI y no tienen efecto de descarga profunda (DOD).
Electroquímico (ESS) Son los dispositivos más importantes para el almacenamiento de energía en la actualidad y se componen de una o más celdas que transforman la energía química en eléctrica y viceversa.	Baterías secundarias (SB) Principales dispositivos encontrados en el mercado para la aplicación en los VE debido a sus características de alta densidad de energía y de potencia, perfil de descarga plana, efecto memoria despreciable y amplio rango de temperatura de operación. Su principal desventaja radica en la utilización de materiales tóxicos para su fabricación. Baterías de flujo (FB) Tienen una expectativa de vida de 15 a 20 años, un rango de descarga de 4 a 10 h y una eficacia del 60 al 70%. La batería de flujo redox (RFB) muestra alta estabilidad en el ciclo de vida, alta eficiencia, flexibilidad en potencia y demanda de capacidad, siendo una buena opción para los vehículos eléctricos. La batería de flujo híbrido (HFB) se compone de una batería secundaria (SB) y una RFB, su capacidad se define por el tamaño de la celda electroquímica.
Químico (CSS) Almacenan y liberan energía mediante reacciones químicas, producidas por varios compuestos.	Celda de Combustible (FC) Dispositivo de almacenamiento y conversión de energía química a eléctrica, por medio de un proceso electrolítico en el que quedan como residuos calor y agua. La FC más popular utiliza el hidrógeno y el oxígeno. Su eficiencia varía del 40 al 85%, no produce ruido y emite baja cantidad de GEI. Sus principales problemas se encuentran en el almacenamiento del gas del vehículo, debido a la baja densidad de energía por unidad de volumen, alto costo, bajo ciclo de vida y funcionamiento complejo
Eléctrico (EESS) Almacenan la energía eléctrica directamente por medio de campo eléctrico (ultracapacitores) y campo magnético (bobinas superconductoras).	Ultracapacitador (UC) Altas capacitancias, eficiencias del 95%, densidades de energía de alrededor del 10% y densidad de potencia es 10 o 100 veces más alta (1.000-2.000 W/kg). Bobina Superconductora (SMES) Alta densidad de potencia, largo ciclo de vida (100.000) y eficiencia del 97%.
Térmico (TSS)	Almacenan energía en forma de calor en un depósito aislado de un calentador solar o eléctrico, para su posterior uso en plantas de generación de electricidad o diferentes propósitos de calefacción.
Híbrido (HSS)	Combinación de uno o más tipos de almacenamiento de energía en el sistema

Fuente: Elaboración propia a partir de Hannan, Hoque, Mohamed, & Ayob (2017)

Ilustración 31. Sistemas híbridos más usados

1. Batería + Batería
2. Batería + Celda de Combustible
3. Batería + Ultracapacitadores
4. Batería + Bobinas superconductoras

1. FC + UCaps
2. FC + Flywheel (Volante de inercia)

Fuente: Elaboración propia

¿Cuáles son las características de los programas (promoción o fomento) que están siendo implementados en países de referencia para dar soporte y apoyo a la recarga de VE?

Como referencia en los programas de fomento el vehículo eléctrico, se analizan tres informes que reseñan iniciativas realizadas a nivel mundial, para promover y apoyar la infraestructura de los vehículos eléctricos.

La Iniciativa de Vehículos Eléctricos (EVI, por sus siglas en inglés) se desarrolla a través de políticas gubernamentales, donde colaboran los 10 países con mayor participación en el mercado de VE, a nivel mundial [2]. El programa de cooperación internacional es promovido por el Ministerio de la Energía Limpia (CEM, por sus siglas en inglés), con el propósito de brindar una plataforma efectiva para intercambiar información, acción y comunicación acerca de tecnología, políticas y regulaciones de los VE. Además de estos países, otros como Islandia, India, Corea, Lichtenstein, Suiza y Turquía, han contribuido también al desarrollo de este informe (Naceur & Gagné, 2016).

Por otra parte, Hall & Lutsey (2017) realizaron un informe dentro del marco de la ZEV Alliance [3], inscrito dentro del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés). El programa es consciente de la reducción potencial de las emisiones de GEI mediante la adopción de los VE, y también del continuo decrecimiento de los costos que aumentan la factibilidad de la transición energética (Hall & Lutsey, 2017). Por ello, este informe ofrece información oportuna encaminada a acelerar la adopción

2 Canadá, China, Francia, Alemania, Japón, Holanda, Noruega, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos.

3 La Alianza Internacional de Vehículos de Cero Emisiones es una colaboración de gobiernos nacionales y subnacionales compuesta por los gobiernos de California, Colombia Británica, Connecticut, Québec, Alemania, Maryland, Massachusetts, Países bajos, Nueva York, Oregon, Rhode Island, Reino Unido, y Vermont, que trabajan juntos para acelerar la adopción de ZEV. Los participantes establecen objetivos ambiciosos y alcanzables para el despliegue de ZEV, toman medidas para alcanzar esos objetivos según corresponda en cada jurisdicción, actuar juntos para alcanzar objetivos individuales y colectivos, y alentar y apoyar a otras jurisdicciones para establecer y alcanzar ambiciosos objetivos ZEV (Washington et al., 2016).

de VE en los países miembros y el resto del mundo, mediante una evaluación global de las prácticas de implementación de infraestructura de carga, los desafíos y las mejores prácticas emergentes en los principales mercados de vehículos eléctricos, con énfasis en las instalaciones de carga pública.

Finalmente, la guía para las lecciones aprendidas de la comunidad de ciudades limpias y los proyectos de preparación de vehículos eléctricos, desarrollada por Frades (2014), resume las actividades, productos y lecciones aprendidas de proyectos realizados desde el 2011, para el crecimiento de VE en el mercado, desde el Departamento de Energía de los EE. UU. (DOE) (Frades, 2014).

Tabla 14. Resumen de los informes de VE a nivel mundial

INFORME	INICIATIVA/ PROMOTOR	PAÍSES/GOBIERNOS PARTICIPANTES	OBJETIVO
Global EV Outlook 2017	EVI	Canadá, China, Francia, Alemania, Japón, Holanda, Noruega, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos. En menor medida: Islandia, India, Corea, Liechtenstein, Suiza y Turquía.	Brindar una plataforma efectiva para intercambiar información, acción y comunicación acerca de tecnología, políticas y regulaciones de los VE.
Mejores prácticas emergentes para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos	ZEV Alliance	California, Colombia Británica, Connecticut, Québec, Alemania, Maryland, Massachusetts, Países bajos, Nueva York, Oregon, Rhode Island, Reino Unido, y Vermont.	Ofrece información oportuna de prácticas de implementación, desafíos y mejores prácticas emergentes, encaminadas a acelerar la adopción de VE en los países miembros y el resto del mundo.
Una guía para las lecciones aprendidas de la comunidad de ciudades limpias y los proyectos de preparación de vehículos eléctricos	DOE	Estados Unidos	Soportar acciones locales para implementar los vehículos eléctricos y reducir el uso del petróleo en el transporte.

Fuente: Elaboración propia a partir de Frades (2014); Hall & Lutsey (2017); Naceur & Gagné (2016)..

Características de los programas

Las medidas regulatorias que caracterizan los programas mencionados en la Tabla 14, permiten que el VE compita con los ICEVs, y están enmarcadas dentro de amplias acciones y políticas como la implementación de incentivos, investigación y desarrollo tecnológico, infraestructura de carga (doméstica, comercial y pública), facilidades para la obtención de parque automotor, beneficios de tránsito y campañas de promoción dirigidas a usuarios finales y organizaciones públicas y privadas, donde la integración Universidad-Estado-Empresa es vital para que estas medidas sean eficaces.

La Tabla 15 muestra un resumen de las medidas regulatorias tomadas en diferentes ciudades. Se califican según el grado de desarrollo que cada ciudad haya alcanzado, para la categoría respectiva, con un espacio

en blanco que indica que no hay política o acción conocida, + alguna acción, y ++ acción extensa (Hall, Moultak, & Lutsey, 2017)

Tabla 15. Evaluación cualitativa de las acciones implementadas a nivel mundial para impulsar el mercado de los VE

Ciudad	Ciudad	Incentivos financieros	Incentivos no financieros	Infraestructura de carga	Investigación y campañas	Tránsito y flotas
China	Shanghai	++	+	+	+	++
	Shenzhen	++	++	+		++
	Beijing	++	+	+	++	+
Europa	Copenhague	+	+	++	++	++
	Paris	++	+	+	+	+
	Ámsterdam	++	++	++	+	++
	Utrecht	++	++	++	++	+
	Oslo	++	++	++	+	++
	Estocolmo	+	+	+	+	+
	Zürich	+		++	+	+
	Londres	+	++	+	++	++
Estados Unidos	San Jose	++	++	++	+	+
	San Francisco	++	++	++	+	++
	Los Angeles	++	++	+	+	++

Fuente: Hall, Moultak, & Lutsey (2017)

Incentivos

Los incentivos provenientes de los gobiernos son importantes para impulsar el mercado del VE, por lo que los países miembros de los programas, han estudiado e implementado incentivos financieros para reducir la brecha de costos entre el VE y el ICEV (ver Tabla 16). Otros tipos de incentivos no financieros se han diseñado para mejorar la propuesta de valor de los VE y ofrecen ventajas como tarifas reducidas, beneficios exclusivos y ahorro de tiempo a los conductores de automóviles eléctricos. De acuerdo a las condiciones locales de movilidad urbana, se incluyen mecanismos como exenciones de limitaciones a la disponibilidad de placas, acceso a áreas restringidas o libre tránsito en días de restricción para los ICEVs en áreas urbanas, exenciones de tarifas de parqueo y peajes, parqueaderos públicos exclusivos, acceso a infraestructura de carga pública y acceso a carriles exclusivos (Hall, Moultak, & Lutsey, 2017; Hall & Lutsey, 2017; Naceur & Gagné, 2016).

Tabla 16. Revisión de los incentivos implementados a nivel mundial

Incentivo	China	Noruega	Japón	Holanda	Suecia	Dinamarca	Francia	Reino unido
Exención de impuesto de adquisición	X	X				X		
Eliminación de impuestos	X			X				
Esquemas de subsidios	X		X		X	X		
Instalación de puntos de recarga público	X	X		X	X			X
Instalación de puntos de recarga privados	X						X	X
Exención de disponibilidad de placas	X							
Exenciones de tarifas de peajes		X						
Parqueadero gratis		X						
Impuesto a las emisiones de CO2				X				
Flota empresarial o pública					X	X		
Beneficios adicionales					X			

Fuente: Elaboración propia a partir Hall, Moultak, & Lutsey (2017); Hall & Lutsey (2017); Naceur & Gagné (2016).

Los incentivos financieros serán cada vez menos necesarios a medida que se reduzcan los costos de PEV y de infraestructura, a través de la innovación tecnológica, la escala de producción, el aprendizaje práctico y de la adopción por parte de gran parte de la población. No obstante, de acuerdo a la IEA aún siguen siendo necesarios ya que los VE continúan siendo más costosos que los ICEVs, debido a los costos de las baterías y de su infraestructura de carga (Naceur & Gagné, 2016). Si bien los incentivos pueden proporcionar un soporte crítico para el desarrollo temprano del mercado, solo pueden ser efectivos si los consumidores, los operadores de flotas, las empresas y los concesionarios conocen su disponibilidad.

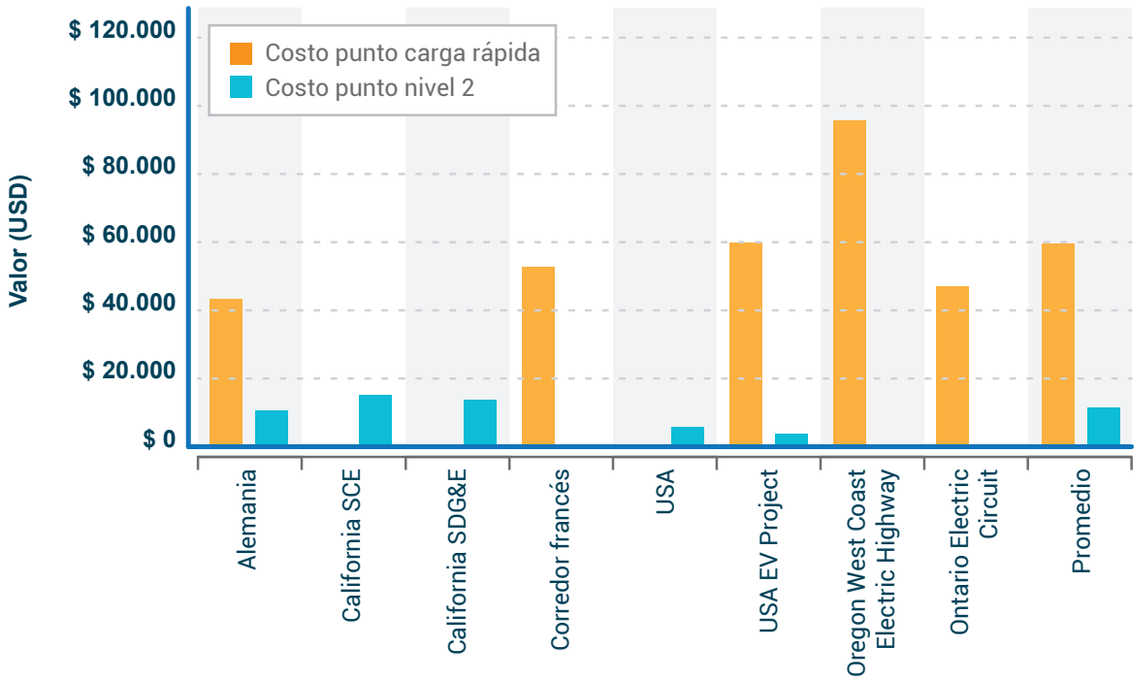
En el 2017, el EVI lanzó la campaña EV30@30, buscando que a 2030 el 30% del mercado de vehículos sea de tecnología eléctrica. Para ello, buscan implementar acciones para dar soporte al desarrollo de cargadores, moldear los compromisos del sector público y privado para adoptar los vehículos eléctricos en sus flotas, intercambiar información y experiencias, desarrollar capacidades, investigar y analizar las políticas y su eficacia, y establecer el programa Global EV Pilot City. Este último, es un programa cooperativo global destinado a facilitar el intercambio de experiencias y la reproducción de las mejores prácticas, para la promoción de los VE en las ciudades. Esta campaña ha contribuido en el proceso de formulación de políticas para brindar soporte a la investigación, ya que se considera un área clave para reducir los costos y mejorar los desempeños de las tecnologías, de modo que se puedan producir a gran escala y lograr una mayor masificación (Naceur & Gagné, 2016).

Infraestructura para vehículos eléctricos

Los puntos de recarga se consideran un prerrequisito para la adopción rápida de los VE, especialmente los cargadores públicos de carga rápida, sin embargo, la mayoría de los cargadores instalados en el mundo son privados (ubicados en el sector residencial principalmente). Los sistemas de recarga para vehículos eléctricos requieren integrar las tecnologías de cargadores para las baterías, la infraestructura disponible en cuanto a puntos y estaciones de carga y las normas de estandarización del sistema. En la Ilustración 32

se muestran los costos actuales de la instalación de puntos de recarga en diferentes países. El costo punto carga rápida se refiere a los sistemas instalados en DC y el costo punto nivel 2 a sistemas en AC de carga lenta.

Ilustración 32. Costo de la instalación de puntos de carga en los principales mercados de Vehículos Eléctricos



Fuente: Hall & Lutsey (2017)

Una de las medidas que ha tenido mayor éxito a nivel mundial, es la construcción de estaciones de carga en la acera, en viviendas de unidades múltiples y de carga rápida interurbana. Los gobiernos locales cumplen un rol crítico en proveer la infraestructura necesaria como zonas de parqueo, así como, reducir los requerimientos burocráticos y mejorar los códigos eléctricos de construcción. Por ejemplo, un problema al que se debe dar manejo desde el sector público, es el que presentarían los usuarios que habitan en las viviendas multifamiliares, por la imposibilidad de instalar sus propios puntos de carga, por lo que requerirían más puntos en el trabajo o de programas que apoyen la instalación en este tipo de edificaciones (Frades, 2014; Hall & Lutsey, 2017).

Los programas de gobierno preferiblemente se deben centrar en una forma de infraestructura de carga que satisfaga una necesidad definida, de acuerdo a su contexto político, geográfico y demográfico (por ejemplo, carga rápida interurbana de CC o carga residencial en la acera), para abarcar zonas geográficas amplias (Hall & Lutsey, 2017). Los gobiernos han diseñado varios subsidios para apoyar los costos derivados de la instalación de puntos de carga en el hogar; en Reino Unido y Oklahoma los subsidios representan el 75%, en Delaware 50%, en Maryland el 40%, en Luisiana el 36%, en Oregon el 25%, en Québec son hasta de $600 y en Washington D.C. hasta US $1.000. La Tabla 17 resume algunos de los principales programas de infraestructura de carga a nivel mundial. Entre los principales mercados de vehículos eléctricos promovidos por los gobiernos, se destacan los gobiernos de Estados Unidos y los Países Bajos.

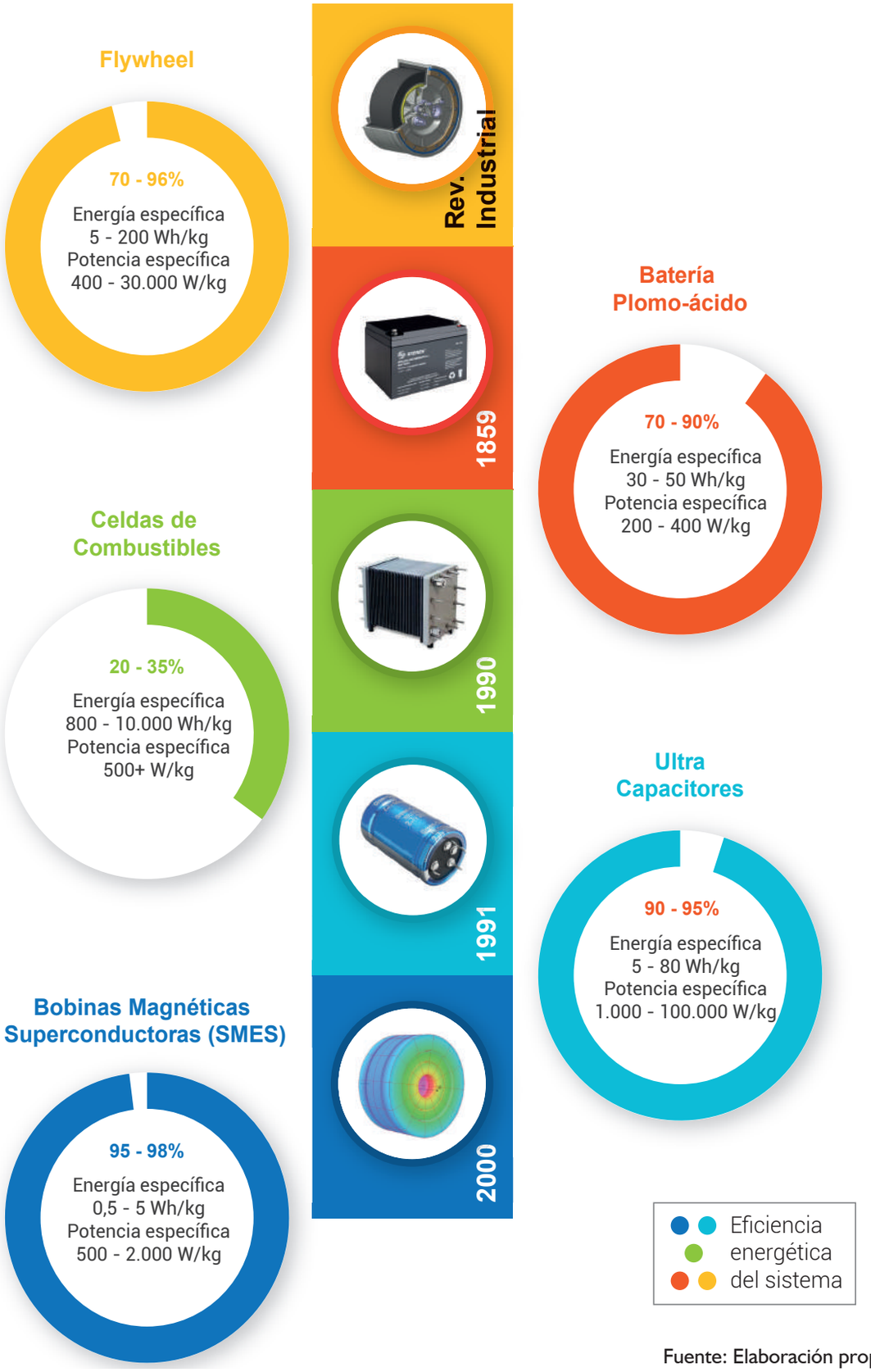
Tabla 17. Programas de infraestructura implementados a nivel mundial

País	Programa	Presupuesto	Mecanismo de soporte
China	• Corredores nacionales de carga rápida • Inversiones regionales de fabricantes de automóviles • Construcción financiada por el gobierno en ciudades piloto		Programas de utilidad pública Asociación público-privada Subvenciones a los gobiernos locales
Francia	• Financiamiento dado a 3.000 ciudades por 12,000 puntos de carga • Compañía eléctrica EDF construye una red de carga rápida de DC en todo el país		Los gobiernos locales aplican a subvenciones
Alemania	• € 300 millones para 10,000 estaciones de carga rápida de Nivel 2 y 5,000 DC	€300 millones (USD$285)	Subsidios para el 60% de los costos para todas las empresas elegibles
Japón	• Proyecto de promoción de despliegue de infraestructura de carga de vehículo de próxima generación • Asociación gobierno-fabricantes de automóviles de Nippon Charge Service	Más de ¥100 billones (USD$1 billón)	Subvenciones a gobiernos locales y operadores de carreteras Asociación público-privada
Países bajos	• "Green Deal" (cargadores en la acera a pedido)	€33 millones (USD $31 millones)	Contratos ofrecidos a las empresas proyecto por proyecto
Noruega	• Programa de subvenciones Enova desde 2009 en adelante		Convocatorias trimestrales de propuestas para proyectos específicos
Reino Unido	• Estaciones de acera para áreas residenciales • Highways England construye estaciones de carga rápida de DC a lo largo de las principales carreteras de Inglaterra	£2,5 millones (USD $2 millones) £15 millones (USD $12 millones)	Los municipios solicitan subvenciones; instaladores reembolsados Subvenciones y licitaciones administradas por organismos públicos
Estados Unidos	• Subvenciones para financiar estaciones de carga públicas a través de la Ley de Recuperación y Reinversión de los Estados Unidos.	USD $15 million	Subvenciones igualadas para gobiernos locales

5.6.2. Acciones para facilitar y promover la inclusión de Vehículos Eléctricos en el contexto latinoamericano

La Ilustración 33 muestra los avances en tecnologías de almacenamiento de energía para vehículos. Aunque en la actualidad predomina un único tipo, se espera que en las próximas décadas haya un aumento en el portafolio de tecnologías que representará un reto para los países en materia de organización e infraestructura.

Ilustración 33. Evolución de las tecnologías de almacenamiento de energía para vehículos



Fuente: Elaboración propia

Aun cuando hay importantes referentes mundiales, los beneficios asociados a la implementación del vehículo eléctrico u otras tecnologías de baja emisión de carbono, resultan insuficientes respecto a las inversiones realizadas. En este sentido se recomienda que los gobiernos latinoamericanos u otros con condiciones de desarrollo similares, actúen temprano y permitan una transición más rápida y menos traumática hacía los vehículos eléctricos.

Países como Colombia deberían evitar la realización de proyectos de alto costo, como lo hacen los países líderes en la implementación de vehículos eléctricos con alta capacidad de inversión. Sin embargo, podrían facilitar su penetración a largo plazo, mediante acciones como la construcción de soporte regulatorio, establecimiento de la tarifa horaria de la energía, normas de construcción y un único estándar para los sistemas de recarga, la realización de programas públicos de adopción de VE, apoyo a la investigación y desarrollo en los centros académicos y fortalecimiento de las sanciones contra el uso de los vehículos de combustión interna. Lo anterior, con el objetivo de incrementar y difundir los beneficios e incentivos asociados al vehículo eléctrico al público en general y dar señales claras al mercado para que los inversionistas privados desarrollen innovaciones en productos y servicios en la transición energética para el sector transporte.

A medida que el mercado de VE promueva la reducción de costos de adquisición, infraestructura y mantenimiento, los países latinoamericanos deberán implementar medidas como incentivos financieros y no financieros, y desarrollar una infraestructura de carga apropiada a sus condiciones geográficas, demográficas y socioeconómicas, para permitir un desarrollo armónico del mercado de Vehículos Eléctricos y sus servicios anexos.

5.7. I+D+i como una apuesta para la competitividad del sector energético de cara a la transición

Los resultados del trabajo en vigilancia y prospectiva, muestran importantes oportunidades en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) en el sector. Es claro que las transformaciones actuales del modelo energético tienen un importante componente basado en la tecnología y el conocimiento, por ello el papel de la investigación y su integración con la cadena de valor del sector resulta fundamental.

En este sentido, se presentan oportunidades en cada una de las áreas trabajadas, como elementos sobre los que pueden construirse avances en competitividad para el país:

Sistemas de almacenamiento para energía generada a partir de fuentes renovables

El almacenamiento de energía puede convertirse en un foco para dinamizar nuevos modelos de negocio del sector energético dentro de un escenario de incursión de fuentes renovables. Bajo esta premisa, el almacenamiento adquiere relación directa con la gestión óptima del suministro y la seguridad energética y podría reducir el estrés de la transmisión en soluciones energéticas como generación distribuida y micro redes. Incluso, en muchos de estos casos las inversiones en almacenamiento podrían resultar más atractivas que la ampliación del sistema de transmisión, convirtiendo esta actividad en un nuevo eslabón de la cadena de valor energética.

Desde esta perspectiva, existe una oportunidad de creación de capacidades I+D+i alrededor de sistemas de almacenamiento, con impactos importantes para el sector. Dado que cada vez se están desarrollando

dispositivos de almacenamiento de energía con mayores eficiencias y mayor capacidad, entre estos supercondensadores y bobinas superconductoras, podrían generarse capacidades armonizadas entre universidades, productores y entidades del sector, para lograr su simplificación, producción masiva y manufactura.

De igual manera, pueden empezarse a investigar modelos de mercado y regulación para un sector energético que incluya el almacenamiento a gran escala como parte de sus servicios. Al respecto se generan cuestionamientos como cuál debe ser el esquema de negocio (compra, arrendamiento, propiedad, esquemas de facturación, estaciones de almacenamiento móviles etc.) o la infraestructura tecnológica para el monitoreo del servicio.

Vale destacar que actualmente se están realizando varias iniciativas en el área, como las siguientes:

- En el ámbito internacional, la *United States Development and Trade Agency* (USDTA) está financiando estudios de viabilidad para analizar la oportunidad de modelos de negocios de almacenamiento de energía para Colombia, México y Brasil.
- A nivel nacional, XM, ISA y CELSIA se encuentran desarrollando respectivamente las siguientes iniciativas:
    - *Campaña de almacenamiento de energía: menos restricciones, más energía* - Tiene como fin implementar una red de almacenamiento para eliminar restricciones en sectores con altas interrupciones y aportar servicios auxiliares.
    - *Perspectivas para la incorporación del almacenamiento de energía en el SIN* - Propuesta para la reglamentación integral del almacenamiento de energía en Colombia
    - *Alianza con el centro de Energía Avanzada de Canadá* – Busca explorar la viabilidad de establecer opciones de almacenamiento de energía en Colombia, Panamá y Costa Rica.

También existen asociaciones y alianzas de almacenamiento de energía en países como Estados Unidos, China, India, Alemania y Canadá, dentro de las cuales se busca:

- Hacer del almacenamiento un recurso energético principal que acelere la adopción de energía renovable y promueva un sistema de energía eléctrica más limpio, eficiente, asequible, confiable y seguro.
- Avanzar en oportunidades y construir el mercado para el almacenamiento de energía a través de la promoción, la creación de redes y la educación.
- Convertirse en líderes mundiales en el almacenamiento de energía y micro redes, y en centros para la fabricación de estas tecnologías emergentes para 2020.

Estos ejemplos demuestran la importancia estratégica y de competitividad que puede llegar a representar el almacenamiento de energía, así como las ventajas que el país podría obtener de su investigación.

Sistemas de Transmisión

Colombia cuenta con un sistema de transmisión consolidado y efectivo, no obstante, la entrada de grandes cantidades de energía a partir de fuentes renovables representa nuevos retos en esta área que, bajo la configuración actual, no se encuentran resueltos. El reto en transmisión es análogo al de almacenamiento a gran escala y se centra en la búsqueda de opciones que permitan mantener el suministro seguro y la cobertura en los escenarios planteados por la transición energética.

Con el aumento de la producción de energías renovables, se presenta la gran oportunidad de investigar o implementar nuevas tecnologías para reducir las pérdidas y mejorar la conmutación en el cambio de fuentes de generación. La tecnología de corriente directa en alta tensión (HVDC) se presenta como la opción más viable para transmisión a largas distancias, no obstante, la tecnología HVAC con cambios de frecuencia tiene una mejor competitividad para cortas distancias. Estas temáticas representan áreas de investigación que el país podría abordar.

De manera general, pueden establecerse dos grandes retos en materia de integración de las fuentes renovables con el sistema de transmisión: diseño y desarrollo de nuevas configuraciones que permitan mantener la fiabilidad en el sistema de potencia (i) e implementación de las tecnologías que están a la vanguardia para no atrasarse en materia de transmisión (ii).

De igual manera los laboratorios juegan un papel importante en investigación. Siendo los encargados del aporte científico del país, es importante que asuman el rol protagónico y se den a la tarea de investigar mecanismos que permitan la integración de las fuentes de energía renovable a los sistemas de transmisión. Para ello, además de tener en cuenta los proyectos e investigaciones hecha por otros países, deben buscarse nuevas tecnologías y mecanismos que permitan un mejor desempeño en nuestro país, teniendo en cuenta las necesidades locales y buscando la oportunidad de mejora permita a Colombia estar a la vanguardia mundial en este sector.

Vehículo Eléctrico

Los vehículos eléctricos han penetrado exitosamente en diversos países, no obstante, aún existen discusiones y aspectos sin resolver sobre los mejores esquemas de mercado que permitan una penetración adecuada, tanto desde el punto de vista industrial como energético. En este sentido, se plantean las siguientes necesidades en I+D+i para Colombia:

- Estructurar asociaciones Universidad-Empresa-Estado para desarrollar trabajo colaborativo con el objetivo de diseñar e implementar programas de fomento a los VE ajustados a las condiciones colombianas, Plan Nacional de Desarrollo y agenda medioambiental, que difieren en gran medida de las de los países líderes en esta área.
- Colombia debe analizar sus características geográficas, demográficas, culturales, entre otras, para definir fuentes de recursos y el tipo de infraestructura (privada, pública o carga rápida) que debe priorizarse de acuerdo al comportamiento de los usuarios en el país.
- Los entes de investigación en el país deben estar al tanto de los continuos avances de almacenamiento e infraestructura para vehículos eléctricos y emitir las alertas necesarias para ajustar las políticas que promueven su uso en el país.
- Las universidades y los entes de planeamiento del sector energético deben tener la capacidad de prever y analizar la demanda de energía de los VE para garantizar el correcto funcionamiento de la red eléctrica por medio de las energías renovables, la tarifa horaria y la generación distribuida.
- La regulación en el país para la implementación del VE debe ser profundamente debatida con el objetivo de acelerar su uso, fijar los requisitos técnicos mínimos para su importación y establecer los parámetros para su certificación técnico-mecánica.
- Los laboratorios en Colombia deben contar con las capacidades técnicas para evaluar los diferentes sistemas de almacenamiento de energías para VE encontrados en el mercado y proponer recomendaciones a los reguladores.

- Existe la impetuosa necesidad de adoptar un estándar en Colombia (de los ya existentes internacionalmente) para los sistemas de carga (infraestructura, cargadores, VE) con el fin de garantizar el normal funcionamiento del VE en cualquier lugar del país.
- Se deben aumentar las iniciativas gubernamentales para implementar los VE en el transporte público (ej. taxis eléctricos, transporte masivo) para que los actores del sector energético desarrollen las capacidades para entender mejor su funcionamiento en Colombia.
- Sensibilizar a los usuarios finales sobre los beneficios asociados al uso del vehículo eléctrico, los mecanismos de financiación existentes, así como la socialización y difusión de los resultados presentados en los programas implementados en Colombia con el objetivo de generar conocimiento y conciencia en la sociedad.
- Las universidades y demás centros de educación superior deben ajustar sus programas académicos actuales para crear y fortalecer las capacidades profesionales, técnicas y tecnológicas del talento humano especializado en VE.
- Los actuales agentes del mercado de vehículos automotores deben innovar en productos y servicios (autopartes, sistemas de recarga, centros de servicios, talleres, etc.) para direccionar los esfuerzos al mercado emergente de usuarios de vehículos eléctricos, donde el estado por medio de los reguladores articule dichos cambios durante la transición energética.

Energía Térmica para refrigeración y calentamiento

El aprovechamiento térmico de la energía solar para aplicaciones en refrigeración y calentamiento, representa un uso de pequeña escala de la energía que, no obstante, puede resultar de utilidad para aplicaciones específicas en los diferentes sectores de uso final.

En el sector residencial, las aplicaciones se referencian principalmente a calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios. En el sector industrial, su uso se centra en suplir las demandas térmicas de los procesos y se ha empelado especialmente en las industrias alimenticias, de textiles y químicas. Entender las características de este tipo de tecnología y sus ventajas, puede permitir generar líneas de investigación de las universidades que puedan traducirse en nuevos modelos para el mercado, cuya masificación permitiría aliviar, en un pequeño porcentaje, las necesidades de demanda suplidas con fuentes fósiles o electricidad.

En específico se considera de interés:

- Fortalecer grupos y líneas de investigación sobre energía solar térmica, sobre todo en el acondicionamiento de espacios y para aplicaciones industriales.
- Realizar estudios de investigación sobre los potenciales de la tecnología solar térmica para las condiciones del país.
- Llevar a cabo evaluaciones integrales sobre el uso de tecnología solar térmica para el calentamiento de agua residencial, en reemplazo de energéticos tradicionales como el gas natural y la electricidad.
- Propiciar el desarrollo de diseño y construcción de tecnología solar térmica en el país para promover el mercado interno de estos sistemas y la industria nacional.
- Crear y/o fortalecer laboratorios de ensayos para el desarrollo de tecnología solar térmica, así como la realización de pruebas técnicas y de calidad a estas tecnologías de acuerdo a las condiciones del país.

6. PROSPECTIVA PARA LA FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

6

PROSPECTIVA PARA LA FORMULACIÓN DE ESCENARIOS DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

El desarrollo y evolución del sector energético hacia el cumplimiento de sus metas estratégicas requiere de una reflexión sobre el significado de la transición energética para el país y sus impactos sobre el desarrollo social y la competitividad. La prospectiva contribuye a este objetivo al permitir consolidar políticas y estrategias con la participación de los diferentes actores de interés del sector para construir una visión conjunta del futuro energético.

Dentro de la estructura del observatorio de energía, la prospectiva representa una importante herramienta metodológica para identificar las tendencias, definir las variables del entorno, validar las posiciones estratégicas de los agentes del sector, establecer visiones de futuro y definir los factores críticos para el seguimiento y monitoreo. En este sentido resulta una actividad fundamental para orientar los resultados de la vigilancia y el análisis de información a la toma de decisiones.

Bajo esta perspectiva, el planteamiento del Observatorio de Energía se acompañó con un ejercicio de prospectiva centrado en la transición energética del país a 2050. El ejercicio se enfocó en determinar aquellos escenarios futuros de la transición energética del país, cuyos postulados podrán ser alcanzados a través de acciones concretas y decisiones estratégicas, soportadas y ejecutadas por los agentes del sector, de tal manera que, el sector energético en conjunto con actores de interés amplíe las fuentes de energía, contribuya a la sostenibilidad ambiental, brinde seguridad y equidad energética y desarrolle nuevos modelos de negocio.

En las siguientes secciones se describe el proceso utilizado para el planteamiento de los escenarios y se reportan los resultados finales de formulación del escenario apuesta, el cual recoge las visiones más favorables de la transición energética construidas a partir de talleres con actores y expertos del sector.

6.1. Metodología y herramientas usadas en la formulación de escenarios

El concepto de prospectiva involucra la anticipación y construcción de escenarios, como aspectos claves para la exploración de futuros posibles, factibles y deseables. Presenta una clara relación con el pensamiento a largo plazo (proyectado generalmente de 10 años hacia adelante). Busca clarificar las decisiones y acciones del presente y analizar sus consecuencias a futuro (Godet & Durance, 2011). Permite observar los deseos como realidades que pueden cumplirse en un tiempo específico con la aplicación o desarrollo de una serie de capacidades existentes (o por construir) (Godet, 2000).

Siguiendo estos lineamientos, en la Prospectiva de Transición Energética 2050 se definió la construcción de escenarios a partir de los métodos de "Ejes de Schwartz" y "Análisis Morfológico", descritos en la Ilustración 34. Para la aplicación de estas herramientas se desarrollaron nueve etapas de trabajo que incluyeron la recopilación de resultados de los ejercicios de vigilancia tecnológica desarrollados en el proyecto y documentos de referencia sobre las tendencias del sector, el diseño de instrumentos, y su aplicación en talleres con expertos del sector (representante de industrias, empresas de energía, universidades, centros de desarrollo tecnológico, entidades estatales, gremios industriales y entidades de apoyo al sector). En la Ilustración 35 se describen las fases metodológicas desarrolladas y las técnicas o métodos aplicados en el ejercicio completo de prospectiva.

La consulta de información se realizó con base en cinco (5) talleres regionales, desarrollados en Cali, Bogotá, Medellín, Bucaramanga y Barranquilla, y la aplicación de un cuestionario Delphi electrónico. Se diseñó un instrumento de captura de la información el cual fue aplicado a los actores y expertos del sector con el propósito de conocer las opiniones y apreciaciones sobre el futuro del sector energético del país con respecto a la transición energética y posteriormente se definieron los escenarios.

Ilustración 34. Métodos empleados para la construcción de escenarios

Fuente: Elaboración propia

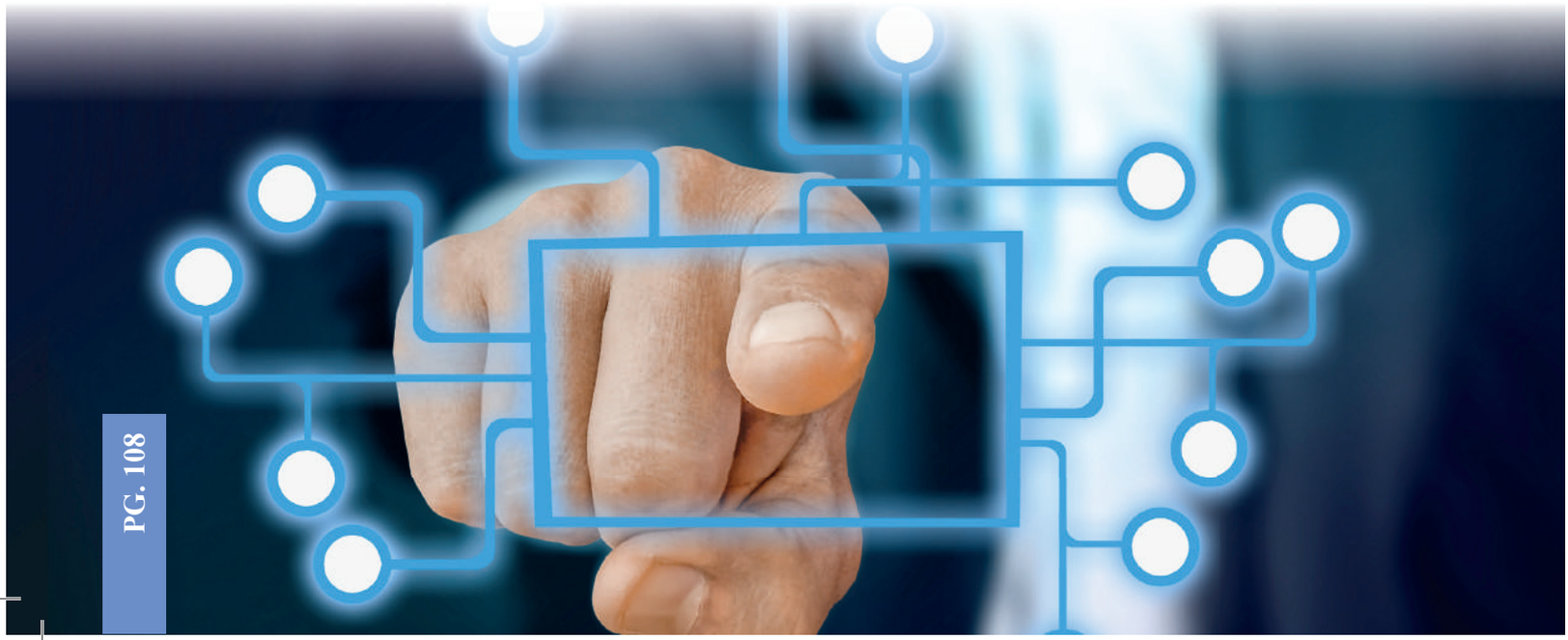


Ilustración 35. Etapas metodológicas desarrolladas para el ejercicio de prospectiva

Fuente: Elaboración propia

6.2. Identificación de tendencias

Las tendencias son eventos del entorno que pueden impactar positiva o negativamente el desempeño de un sector. Estas tendencias pueden ser económicas, sociales, ambientales, tecnológicas, políticas o sectoriales y constituyen aspectos que esperan su consolidación e impacto hacia el futuro.

Las tendencias más fuertes del sector energético reseñadas por las principales entidades mundiales, se pusieron a consideración de los actores y expertos del sector para evaluar su impacto potencial en el país.

De acuerdo con el consenso alcanzado, las siguientes tendencias se consideran de alto impacto para el sector en los próximos años:

- Aceleración de la urbanización
- Crecimiento de las energías renovables
- Uso de la energía en calentamiento y transporte
- Mejoramiento de la eficiencia energética
- Crecimiento de las tecnologías de energía limpia
- Compromisos de los países por disminuir emisión de GEI (gases efecto invernadero)

De otra parte, las siguientes tendencias se consideran de bajo impacto:

- Generación de electricidad a partir de energía nuclear
- Incremento de la demanda de GLP (gas licuado de petróleo) para hogares y zonas rurales

Finalmente, los actores y expertos del sector identificaron las siguientes tendencias complementarias que también tendrán incidencia en el desarrollo de la transición energética para el país:

- Sustitución de energéticos con altas emisiones de CO2
- Desarrollo y aplicación de Smart Grids y Micro Grids
- Movilidad Eléctrica. Uso de medidas alternativas de transporte
- Incremento en los problemas sociales relacionados en la producción de energía
- Explotación de hidrocarburos no convencionales en Colombia
- Inestabilidad política de países de la región
- Conocimiento de la población sobre opciones energéticas
- Aumento de la conciencia ambiental en la población
- Crecimiento en las necesidades de suministro alimentario y de agua potable
- Revolución industrial 4.0. Tecnologías Blockchain y Big Data.
- Políticas públicas orientadas al desarrollo energético
- Corriente política del gobierno de Estados Unidos
- Tecnologías de medición avanzada.
- Conexión de las Zonas No Interconectadas

6.3. Priorización de variables

La priorización de variables es una de las fases más importantes en la prospectiva, que permite visualizar las variables del entorno (interno o externo) que deben ser monitoreadas para detectar, oportuna y permanentemente cambios que pueden afectar los escenarios. En esta fase se identifican las variables fuerza más importantes del ejercicio de prospectiva, las cuales se convierten en los vectores para la aplicación de la metodología de los Ejes de Schwartz.

A través de los talleres de prospectiva con los actores del sector, se definieron 19 variables para 7 entornos, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 18. Identificación de variables para la Transición Energética de Colombia 2050

Entorno	Variable Estratégica
Político	Política Energética
	Planes de desarrollo y ordenamiento
	Institucionalidad
	Marco regulatorio
Económico	Modelo de negocio
	Competitividad
	Suficiencia financiera de las empresas del sector
Social	Acceso (equidad)
	Participación e influencia de comunidades
	Participación activa de la demanda
Tecnológico	Adopción de tecnologías (almacenamiento, renovables, cuarta revolución industrial)
	Ciberseguridad
	Eficiencia energética
Ambiental	Cambio climático
	Variabilidad climática
Legal	Carga Impositiva
	Incentivos
Sectorial	Eventos catalizadores (crisis, impulsores, choques, catástrofes)
	Gestión del riesgo del sector

Fuente: Elaborado con base en resultados de los talleres de expertos "Prospectiva Transición Energética" (2018)

Con base en la aplicación del método MIC-MAC se posicionó cada una de las variables según los siguientes cuadrantes:

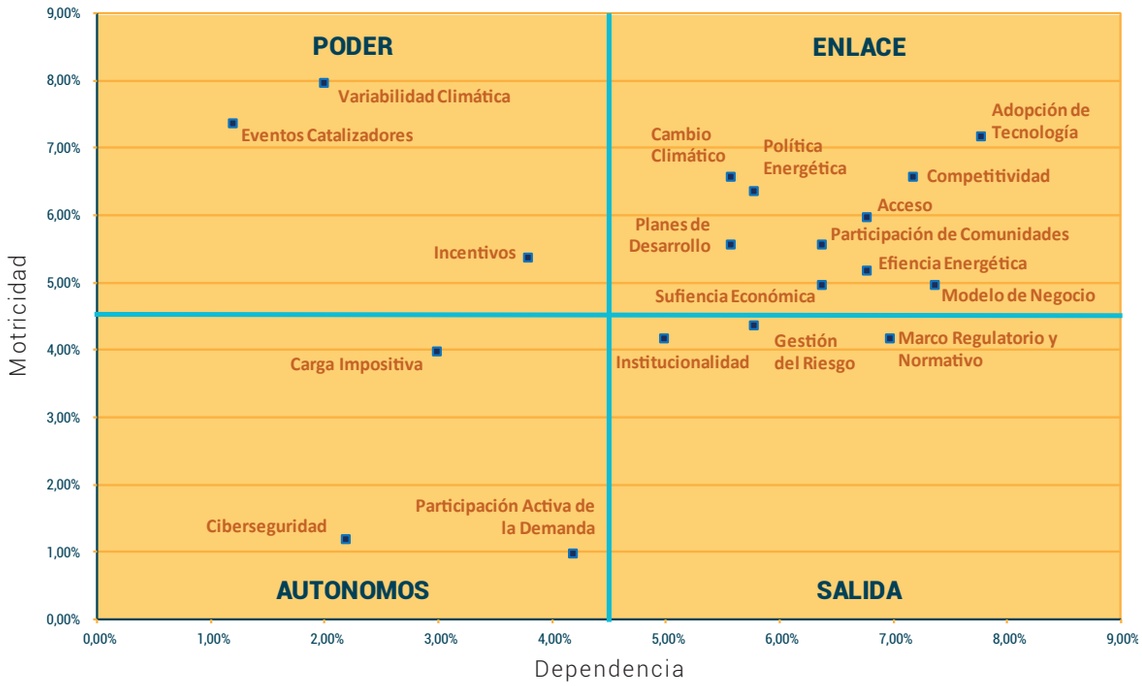
Tabla 19. Cuadrantes del método MIC-MAC

Cuadrante	Descripción
Cuadrante Superior-Izquierdo PODER	Variables que tienen influencia alta sobre las demás variables pero que tiene cierta autonomía. Estas variables son de poder porque un cambio en ellas afecta a todo el sistema (por su alta influencia). Las variables ubicadas en este cuadrante requieren de monitoreo y seguimiento permanente.
Cuadrante Superior-Derecho ENLACE	Variables que tienen influencia y dependencia alta de todo el sistema. Son variables de enlace por su alto grado de relacionamiento con todo el sistema y por su capacidad de impacto en el curso futuro del mismo. Las variables ubicadas en este cuadrante requieren de monitoreo y seguimiento permanente y aquellas que se ubiquen más cerca del nivel superior derecho son las variables de mayor importancia para el sistema.
Cuadrante Inferior-Derecho SALIDA	Variables con escasa influencia y alta dependencia, las cuales están supeditadas a los cambios que ejerzan las variables ubicadas en los cuadrantes de Poder y Enlace. Son variables cuya evolución está condicionada a los cambios de las demás variables del sistema.
Cuadrante Inferior-Izquierdo AUTONOMAS	Variables con baja dependencia e influencia son las que menor impacto o cambios demuestran en el sistema. Un cambio en ellas afecta poco al desempeño de las demás variables, y por ende, al sistema.

Fuente: Tomado de Godet (2000)

Los resultados de la calificación realizada por los expertos acerca de la influencia de cada variable sobre la demás se muestra en la Ilustración 36

Ilustración 36. Análisis MIC MAC para identificación de variables fuerza



Fuente: Elaborado con base en resultados del taller de expertos "Prospectiva Transición Energética" (2018)

La Competitividad (del entorno Económico) y Adopción de tecnologías (del entorno Tecnológico) son las variables con mayor peso en todo el sector energético nacional. Por lo tanto, se tomaron como los ejes o vectores fuerza para la construcción de los escenarios, según la metodología de los Ejes de Schwartz.

6.4. Escenario apuesta: La transición energética como una ventaja competitiva para Colombia.

Para la estructuración de escenarios se definieron 8 componentes que en conjunto describen los principales elementos de la transición energética: sostenibilidad ambiental, participación de la demanda, fuentes de energía, equidad energética, seguridad energética, plataforma tecnológica, nuevos modelos de negocio y usos finales de la energía. La definición de cada componente se detalla en Tabla 20.

La construcción de escenarios se realizó con base en el método de Análisis Morfológico, el cual permite segmentar un sistema en partes o subsistemas, estableciendo su evolución optimista, pesimista, inercial y probable.

El camino optimista denota un cambio de mejora sustancial e importante para el sector energético con base en la transición, mientras que el pesimista establece un panorama de deterioro para el mismo. El panorama inercial indica una evolución sin ejercer ninguna acción importante que modifique las condiciones presentadas en la actualidad. Por último, el escenario probable denota mejoramiento en algunos aspectos y profundización de otras problemáticas.

Tabla 20. Componentes de la transición energética usados en la formulación de escenarios

Componente	Descripción
Sostenibilidad Ambiental	Se refiere al reemplazo de los combustibles fósiles por fuentes renovables y el impacto ambiental de la transición energética.
Participación activa de la demanda	Se refiere a la participación de los usuarios finales en la cadena energética por medio de mecanismos como gestión de la demanda, autogeneración, cogeneración, generación distribuida, almacenamiento etc.
Fuentes de energía	Se refiere a la identificación del potencial energético de fuentes renovables y no renovables y su incorporación en la matriz energética colombiana.
Equidad energética	Se refiere al acceso a la energía por parte de la sociedad o las comunidades del país, incluyendo precios y cobertura.
Seguridad energética	Se refiere a la gestión eficaz del suministro de energía a partir de fuentes energéticas locales o externas, con énfasis en la autosuficiencia energética, fiabilidad de las infraestructuras energéticas y capacidad del sector para satisfacer la demanda actual y futura.
Plataforma Tecnológica	Se refiere a la adaptación y asimilación de nuevas tecnologías e innovación por parte de los agentes del sector.
Nuevos modelos de negocio	Se refiere a los nuevos modelos de negocio en la cadena del sector que puedan surgir con la transición energética.

Componente	Descripción
Usos de la Energía	Este componente surgió como parte de las respuestas obtenidas en la consulta a los actores regionales (talleres regionales) y a los expertos (Delphi) y se refiere a los usos finales de la energía, con énfasis en calentamiento, enfriamiento, cocción y movilidad eléctrica (usos finales priorizados por los asistentes a los talleres y Delphi).

Fuente: Elaboración propia

El escenario optimista se seleccionó como el escenario apuesta para la transición energética nacional, involucrando los retos más importantes del sector en el mediano y largo plazo. Este escenario representa un futuro en el que el sector ha sobrepasado sus más grandes retos y ha aprovechado la transición energética como una herramienta de desarrollo. El escenario se construyó a partir de los ejes de 'competitividad' y 'adopción de tecnologías', que resultaron las variables calificadas con mayor relevancia luego de los talleres iniciales con expertos.

En los siguientes cuadros se describe el escenario apuesta, planteando de manera escalonada los cambios a 2030, 2040 y 2050. Los escenarios corresponden a una narración de los resultados logrados por el país para cada uno de los años descritos. Por esta razón se describen hechos ya alcanzados que resaltan los resultados más importantes para el país y nombran actores y hechos específicos que han contribuido a esta realidad.

En el anexo 1 se consignan los escenarios optimista, pesimista, inercial y probable para cada una de las dimensiones que se tuvieron en cuenta en el análisis. El informe completo de prospectiva puede ser consultado en la página web de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética RECIEE: www.reciee.com.

Para alcanzar los retos establecidos en estos escenarios, se requiere ejecutar una serie de acciones soportadas en actores clave. Estos aspectos fueron consultados en los talleres con actores del sector y sus resultados se consignan en el anexo 2 de esta publicación.

ESCENARIO APUESTA A 2030

La situación energética del país ha mejorado de manera notable y hoy se empiezan a evidenciar los logros de la transición energética en Colombia, principalmente con la sustitución de combustibles líquidos por energías alternativas como la solar fotovoltaica y eólica. Las acciones fueron posibles debido a las condiciones de política pública, normatividad y regulaciones que abrieron el camino para que Colombia, a través del aporte e integración de los actores del sector, estableciera las condiciones idóneas para una transformación estructural. Los cambios abarcan al sector de manera integral, incluyendo la evolución del modelo eléctrico, la electrificación del transporte y el aumento de eficiencia en usos finales de energía. Los anteriores aspectos han contribuido a disminuir las emisiones y aportaron para que Colombia alcanzara las metas de la COP21.

El país cuenta con una matriz eléctrica soportada mayoritariamente por hidroelectricidad, pero con un incremento en la participación de las energías renovables no convencionales. Esta diversificación permitió responder a las consecuencias de la variabilidad climática, registrada en años anteriores. Los combustibles fósiles permanecen en la matriz, pero existen cambios importantes, como el aumento de participación del gas natural o la implementación de técnicas de alta eficiencia y bajas emisiones (HELE) en el aprovechamiento de carbón. Soportando estos cambios, se ha establecido una planeación de expansión de los sistemas de transmisión soportada con transmisión HVDC (Corriente Continua de Alta Tensión) y sistemas de almacenamiento a gran escala, desarrollada con base en la localización de los potenciales de energías renovables.

En materia de transporte, se han dado los primeros pasos para el reemplazo de una parte del parque automotor de uso público y particular por vehículos híbridos. Además, en los diferentes sectores de consumo se han promovido usos finales más eficientes. Estos nuevos usos de la energía han estado acompañados de una notable dinámica de investigación en los últimos diez años y la integración del sector académico y de investigación con los actores del sector.

La transición energética, soportada en el marco normativo y en los nuevos usos de la energía, ha establecido el terreno propicio para que surjan nuevos modelos de negocio. Esto ha permitido la diversificación de oferta del sector y la reducción de los costos de producción y transacción, redundando en mejoras graduales de competitividad del sector. La participación activa de la demanda ha sido clave para ajustar, adaptar y mejorar la cadena de valor del sector energético nacional y hoy uno de cada diez usuarios industriales ha adoptado esquemas de participación de demanda y la mayoría de usuarios urbanos y al menos la mitad de los rurales cuentan con tecnologías de medición avanzada, AMI. De igual manera, se han definido los esquemas relacionados con la micro-generación con energías renovables, las posibilidades de desconexión del SIN (Sistema Interconectado Nacional) y la suavización de la curva de demanda.

La adaptación de tecnologías ha sido una variable habilitante. Entre los logros alcanzados se cuenta con el aumento de la cobertura energética de áreas remotas a través de soluciones exitosas de generación distribuida. Para ello, el marco de la plataforma tecnológica del sector, definido desde la política nacional, ha trabajado en pro de desarrollar e implementar sistemas de medición inteligente.

De esta manera, las tecnologías 4.0 han aportado un marco idóneo para garantizar la convergencia tecnológica, con lo cual se han mejorado los procesos de comunicación y transacción entre los agentes y usuarios del sector, con ejemplos claros como la política de ciber-seguridad del sector y el desarrollo de aplicaciones para los proyectos piloto de "Smart Cities" en Bogotá, Cali y Medellín. Sin embargo, existen retos tecnológicos por afrontar en los próximos años, entre ellos, seguir desarrollando o adaptando tecnologías para mejorar la calidad de la cobertura e impulsar la estrategia de ciudades inteligentes.

Hoy el país cuenta con un sector energético diversificado en cuanto a fuentes de energía, tecnologías, demanda, modelos de negocio y con actores y agentes del sector conscientes de la contribución a la sostenibilidad ambiental. En general, se logró que el sector energético sea competitivo y contribuya con el desarrollo del país en todos sus ámbitos, industrial, comercial, socio-ambiental y económico.

ESCENARIO APUESTA 2040

Los gobiernos del país han acertado en mantener vigente la transición energética como estrategia de competitividad y sostenibilidad del sector, con mejores instrumentos de gestión, fomento e incentivos derivados del continuo seguimiento, evaluación y ajuste de las políticas públicas, el marco normativo y las regulaciones.

El sector energético logró posicionarse como sector estratégico gracias a tres (3) ejes de desarrollo centrales: Tecnología – Fuentes no convencionales de energías renovables - Sostenibilidad. La tecnología ha permitido que el sector se denomine como "sector inteligente", ya que la gran mayoría de las operaciones, procesos y transacciones se encuentran automatizadas y gestionadas por tecnologías 4.0 y todos los actores confían en este medio para potenciar el sector. Además, la interoperabilidad Energía-TIC y TIC-Energía se enfocó en mejorar la eficiencia energética y en el desarrollo de aplicaciones, para potenciar y consolidar la estrategia "Smart Cities" no solo en las ciudades piloto del año 2030 (Bogotá, Cali y Medellín) sino en ciudades intermedias del país.

Las fuentes no convencionales de energía renovables (Solar, Eólica y Biomasa) continúan su consolidación en el país, incrementando significativamente su participación en la matriz energética, generando a su vez, la disminución de la participación de la energía hidroeléctrica. Complementariamente, se desarrollaron proyectos exitosos sobre la química del carbón y su reducción del impacto por el uso, captura de emisiones y procesos de combustión, así como en la innovación de tecnologías finas para la transformación del carbón y su uso eficiente.

Adicionalmente, se obtuvieron logros importantes en los siguientes componentes de la transición energética de Colombia:

Equidad Energética:

- Desarrollo masivo de la medición inteligente
- Desarrollo de la generación distribuida en comunidades rurales o remotas del país
- Uso masivo de baterías y medios de almacenamiento para permitir incursión de renovables.
- Cobertura total del país a través de soluciones auto-sostenibles
- Aumento de la cobertura del servicio y de la calidad de la energía
- Las comunidades participan en las decisiones de explotación de recursos naturales y de generación de gran envergadura, dado que disponen de información y conocimiento.

Usos de la energía:

- Se incrementó el parque automotor abastecido con electricidad
- Se disminuyó el uso de combustibles fósiles en el sector vehicular particular y masivo
- Se incrementó el uso de electricidad y energía solar térmica para calentamiento, enfriamiento y cocción en el sector industrial
- Existe infraestructura de estaciones de recarga para vehículos eléctricos con cobertura en las principales vías del país.

Modelos de negocio:

- Se cuenta con oferta para servicios de apoyo a la movilidad eléctrica, procesamiento de información energética y agregación de demanda

- Las empresas líderes del sector migraron o ajustaron sus líneas de negocio, según la incorporación de soluciones a través de fuentes renovables de energía.

Participación Activa de la Demanda

- Se presenta la participación de actores no tradicionales en el mercado de energéticos

- Se amplió el uso de la tecnología AMI entre usuarios industriales

- Se adoptaron comportamientos de optimización y uso racional de la energía por usuarios residenciales, comerciales y rurales.

- Se incrementó la participación de usuarios industriales.

Todos los logros anteriores, junto con los tres (3) ejes de desarrollo central de la transición energética, han contribuido con el mejoramiento y posicionamiento del sector energético como uno de los sectores estratégicos de la transformación nacional, sobre los cuales se cimentó la competitividad y proyección internacional de Colombia.

ESCENARIO APUESTA 2050

La transición energética de Colombia es una realidad que se muestra a los países de la región como modelo sectorial.

La matriz energética cuenta con una gran participación de fuentes renovables que hoy se identifican como fuentes de energía convencionales para el país. De esta forma, se ha logrado un portafolio de generación ampliamente diversificado, mitigando así, el riesgo por variabilidad climática. Este hecho, es el principal cambio del sector energético en los últimos 30 años, con el cual queda plenamente demostrada la transición energética.

El segundo aspecto más destacado de la transición energética lo instituye la movilidad eléctrica, constituyéndose como modelo exitoso referente a nivel latinoamericano. Se desarrollaron tecnologías para los vehículos eléctricos, logrando su competitividad frente a los vehículos tradicionales de combustión interna. Este logro respondió al trabajo integrado entre el gobierno, los actores del sector, los fabricantes y concesionarios de vehículos y las universidades, que han demostrado los beneficios económicos y socioambientales de la movilidad eléctrica.

La movilidad eléctrica se extrapoló a la implementación de proyectos de medios de transporte masivo como cables, metros y líneas de trenes abastecidas con energía eléctrica. Como ejemplos, se observa la construcción y puesta en marcha del tren de cercanías 100% eléctrico, en Bogotá, y la implementación de soluciones mixtas de transporte masivo eléctrico en Bogotá, Cali, Bucaramanga y Barranquilla. Por otra parte, uno de los modelos de negocio del sector se estableció en torno al desarrollo de infraestructura para la movilidad eléctrica.

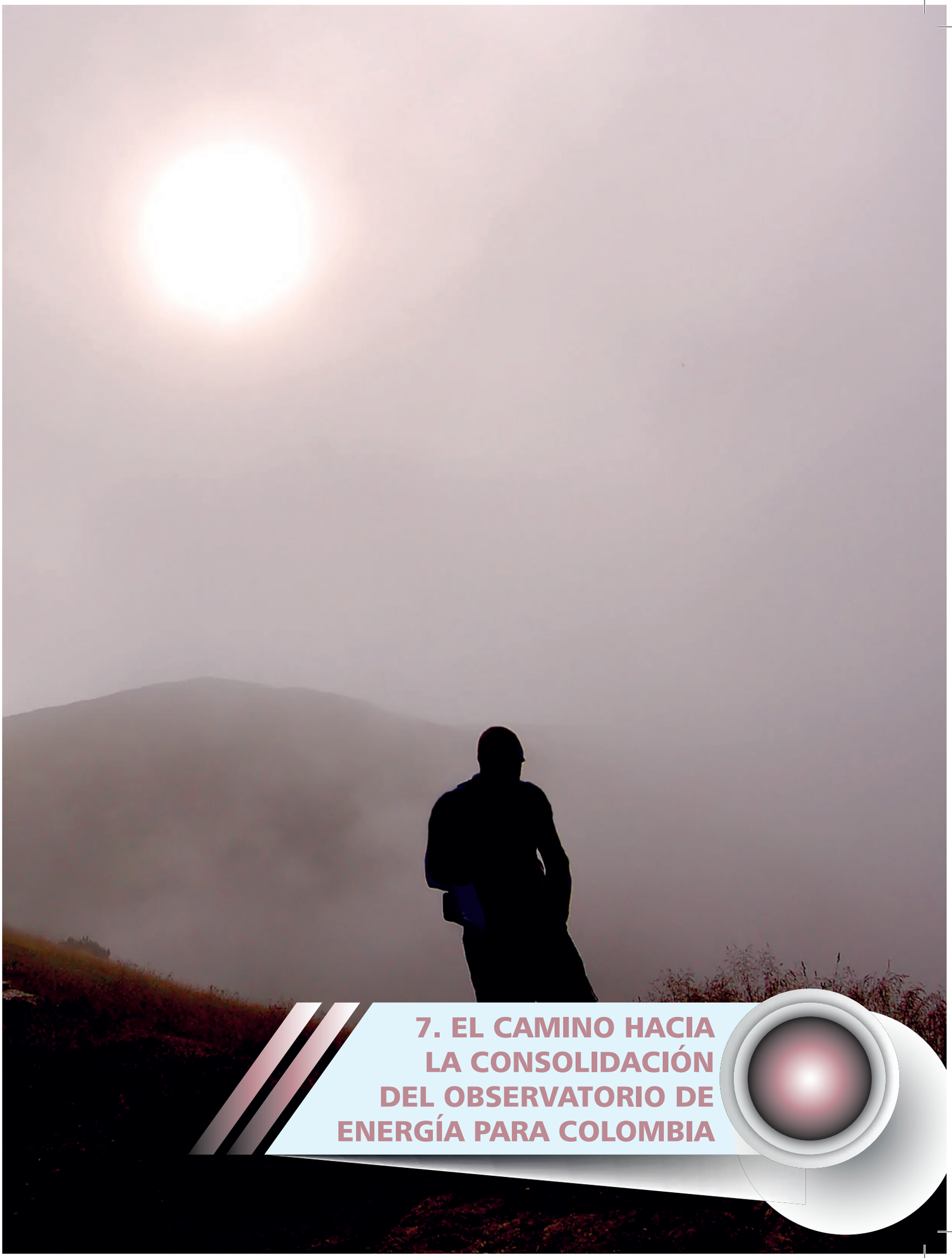
De cara a la demanda eléctrica, los usuarios residenciales, industriales y rurales participan en el mercado y cuentan con información energética en tiempo real que permite tomar decisiones de transacciones en el sector. La participación en la demanda incrementó a tal punto que todos los usuarios industriales adoptaron los esquemas de participación y el 100% de los usuarios urbanos y rurales cuentan con tecnologías AMI (la cual se encuentra al 100% en cuanto a la infraestructura) y se encuentran totalmente definidos los programas de incentivos y de precios variables en el tiempo.

Para la cobertura e interconexión energética del país, se desarrollaron soluciones complementarias para el sector rural y para industrias ubicadas en zonas remotas o de difícil acceso. Estas incluyen la implementación total de micro-redes autosostenibles, la implementación de almacenamiento a gran escala y los sistemas de transmisión en HVDC. Este tipo de soluciones han aportado a la equidad energética del país permitiendo el uso de energéticos costo-eficientes, el establecimiento de precios competitivos sin subsidios y la inclusión de la participación de las comunidades en las decisiones de proyectos de explotación energética que involucre recursos naturales.

El sector energético contribuyó con la sostenibilidad ambiental del país, toda vez que, el crecimiento económico nacional logró desligarse de la generación de GEI (Gas Efecto Invernadero) y todo el comercio internacional se realiza con base en etiquetas verdes para la disminución de la huella de carbono.

El sector energético adoptó las tecnologías 5.0 y el componente tecnológico continúa siendo uno de los pilares estratégicos del sector que asegura la competitividad del mismo.

La transformación del sector durante estos 30 años, se fundamentó en la transición propiciada por los siguientes aspectos clave: 1) Políticas de fomento a la transición energética; 2) gobiernos que apostaron por el reemplazo de combustibles fósiles y la incorporación de fuentes renovables de energía como solar, biomasa y eólica; 3) integración de actores para favorecer la competitividad del sector; 4) fomento a la movilidad eléctrica; 5) fomento a la participación de la demanda; 6) aseguramiento de la seguridad energética (auto-abastecimiento) del país; 7) uso de tecnologías para aprovechar las fuentes no renovables y; 8) desarrollo de plataformas tecnológicas para potenciar el sector y su fortalecimiento en transacciones, seguimiento, evaluación y toma de decisiones.



7. EL CAMINO HACIA LA CONSOLIDACIÓN DEL OBSERVATORIO DE ENERGÍA PARA COLOMBIA

7

EL CAMINO HACIA LA CONSOLIDACIÓN DEL OBSERVATORIO

La construcción de escenarios de futuro energético que impacten el desarrollo social y económico del país requiere de la alineación estratégica en el diseño y adopción de políticas, planes y programas energéticos, los cuales abarcan desde el Plan Nacional de Desarrollo (PND), el Plan Energético Nacional (PEN), los resultados de la Misión de Crecimiento Verde, los Planes de Gestión Integral de Cambio Climático, los planes de expansión y referencia del sector eléctrico, los planes sectoriales, hasta el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes Renovables (PROURE). Los cambios tecnológicos en la cadena energética son cada vez más rápidos y se integran con los cambios sociales, políticos y la era digital, entre otros factores críticos para la revisión de los escenarios de futuro.

El alineamiento estratégico en todas las etapas y componentes de la cadena energética requiere de la revisión permanente y retroalimentación de los actores del sector mediante talleres, foros, conformación de mesas de trabajo y todas aquellas acciones que garanticen una participación activa. Lo anterior permitirá resultados efectivos en el análisis de brecha y la construcción de escenarios de largo plazo, con acciones en el corto plazo, para alcanzar los propósitos estratégicos de la transición energética en Colombia. En esta vía, el Observatorio de Energía para Colombia (OEC) se constituye en un mecanismo fundamental para seguimiento de las variables críticas a nivel mundial y nacional relacionadas con la transición energética.

Dentro de las conclusiones obtenidas en los ejercicios con expertos y actores del sector, se estableció que el OEC es uno de los actores importantes para el sector energético, como encargado del manejo de la información y el desarrollo de conocimiento. En este sentido, deberá definir focos para el seguimiento, evaluación y análisis de la información del sector, relacionada con tendencias, factores críticos del entorno, políticas energéticas, estrategias del PEN, entre otros aspectos clave para el futuro del sector.

Es así como los ejercicios de prospectiva y vigilancia pueden dar señales claras sobre los aspectos sobre los cuales el Observatorio debe hacer seguimiento, como las tendencias identificadas, las variables del entorno priorizadas, los supuestos considerados para el desarrollo de los idearios futuros y en general, a los aspectos clave de la transición

energética en cada uno de sus componentes. Para realizar este seguimiento, se deberá aplicar la metodología de vigilancia tecnológica, de forma periódica y continua, permitiendo conocer los posibles cambios, nuevas tendencias, rupturas y nuevas configuraciones del entorno. En este sentido, en la Tabla 19 se hace una propuesta de factores críticos de vigilancia y seguimiento que se derivan de la prospectiva de la Transición Energética para Colombia al 2050.

Tabla 19. Factores críticos de vigilancia

Aspecto	Factor crítico de vigilancia y seguimiento
Tendencias	√ Urbanización mundial – Foco Colombia
	√ Usos de la energía para el transporte
	√ Usos de la energía para calentamiento-enfriamiento
	√ Eficiencia energética
	√ Tecnologías para energía limpias
	√ Políticas energéticas mundiales
	√ Políticas ambientales de disminución de emisiones
	√ Redes inteligentes – Foco Smart Grid – Micro Grids
	√ Modelo político de países de la región
	√ Potencial de hidrocarburos no convencionales – Foco Colombia
Variables del entorno	√ Variabilidad climática y cambio climático – factores que la producen
	√ Eventos catalizadores del sector
	√ Incentivos para el desarrollo de energías renovables
	√ Planes de Desarrollo Nacional (Colombia) – Estrategias energéticas
	√ Modelos de negocio – Foco nuevos usos, oferta y demanda de energía
Supuestos de escenarios	√ Plan Energético Nacional (escenarios)
	√ Tecnologías para el carbón
	√ Política Energética Nacional
	√ Regulaciones del sector – impactos
	√ Redes de distribución
	√ Cultura energética de Colombia
	√ Energía Solar, Eólica y Biomasa – Foco potencial energético, tecnologías, usos
	√ Soluciones energéticas para zonas rurales
	√ Economía digital
	√ Ciudades inteligentes – Foco aplicaciones energéticas
	√ Estructura del mercado energético – Foco Colombia
	√ Servicios conexos de energía

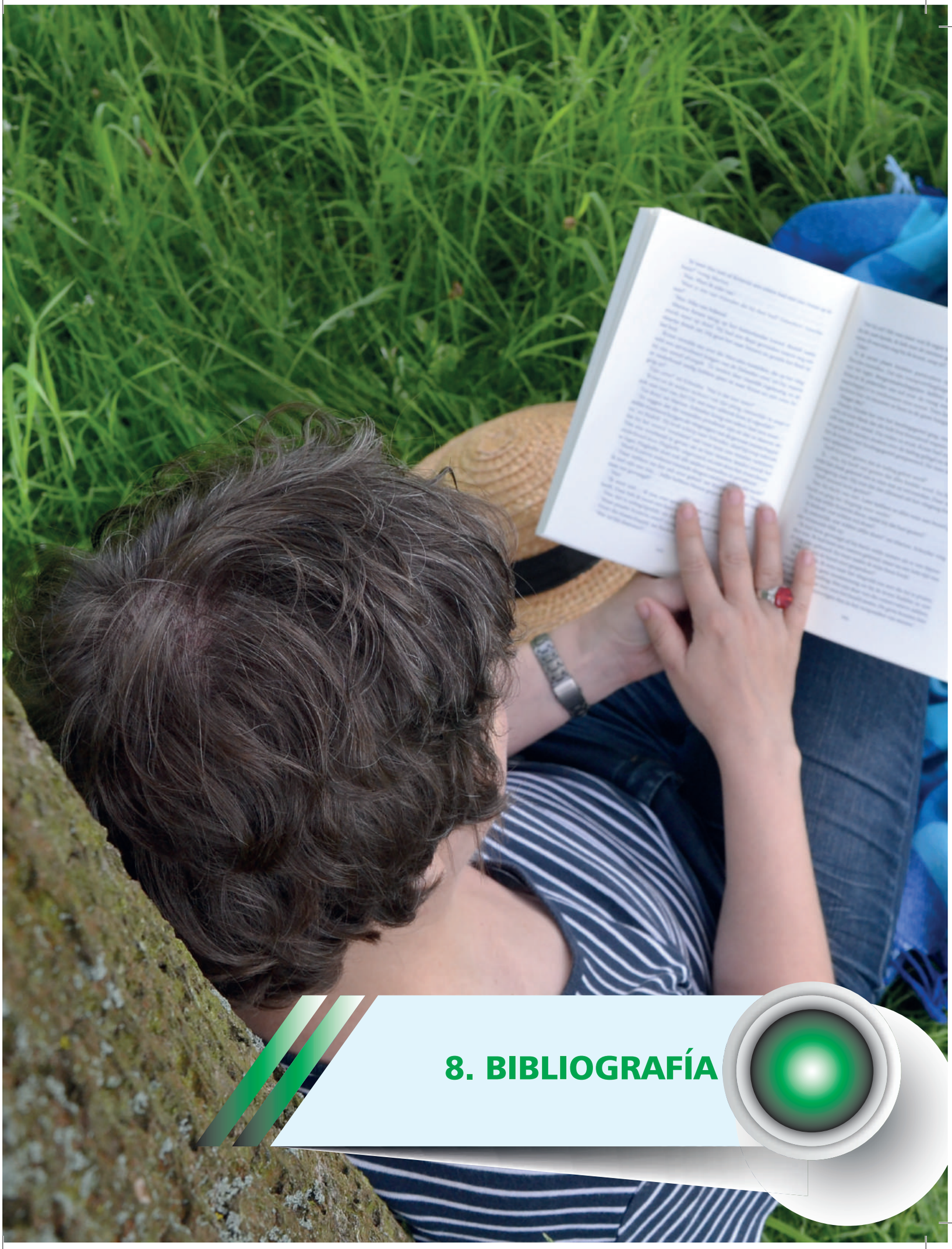
Aspecto	Factor crítico de vigilancia y seguimiento	
Componentes de la transición	Sostenibilidad ambiental	√ Tecnología HELE (High Efficiency Low Emissions) √ Esquemas de sostenibilidad ambiental en el sector energético √ Reducción del impacto ambiental del carbón √ Transformación del carbón para uso eficiente
	Fuentes de energía	√ Fuentes no convencionales de energía √ Biocombustibles √ Comportamiento del petróleo y gas
	Participación activa de la demanda	√ Tecnología AMI √ Micro-generación con energías renovables
	Equidad energética	√ Transmisión de energía a zonas remotas √ Generación distribuida
	Seguridad energética	√ Pronósticos de consumo de energía √ Biomasa para aplicaciones industriales
	Plataforma tecnológica	√ Tecnologías 4.0 y aplicaciones a energía (Big data – Inteligencia artificial – Internet de las cosas – BlockChain) √ Ciber-seguridad
	Modelos de negocio	√ Precios de la energía eléctrica √ Demanda de energía por sectores industriales
	Usos de la energía	√ Movilidad eléctrica – Foco vehículos eléctricos √ Soluciones energéticas - Foco Calentamiento, Enfriamiento, Cocción

Fuente: Elaboración propia con base en talleres de escenarios, 2018

A la luz de las variables mostradas, se espera que el observatorio desarrolle ejercicios de prospectiva en periodos de dos años y vigilancia permanente de las tecnologías, los mercados y la regulación a nivel mundial, de modo que permita disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones de los actores estratégicos del sector, en el corto y mediano plazo.

Como estrategia para la operación plena del observatorio y la gestión de recursos tanto financieros como en infraestructura, información, capacidades técnicas, entre otros, se requiere de la consolidación de alianzas estratégicas convenios, acciones voluntarias con gremios del sector, entidades tanto públicas como privadas, universidades, centros de investigación, centros de desarrollo tecnológico, redes de conocimiento, y observatorios a nivel mundial. Estas alianzas permitirán abordar los temas mencionados de manera integral, permeando en los encargados de planeación y formulación de políticas, los generadores de nuevo conocimientos y los creadores de nuevos productos y servicios.

Finalmente, la construcción de indicadores en todos niveles se constituye en un reto en permanente elaboración y revisión como mecanismo eficaz para el seguimiento de variables y factores que permitan realizar seguimiento planeación y toma de decisiones por parte actores interesados. En este aspecto, resulta fundamental el trabajo en conjunto con el DANE y entidades del sector que manejan importantes volúmenes de información, así como la consonancia con proyectos de indicadores a nivel mundial, como ODYSSEE-MURE y BIEE.



8. BIBLIOGRAFÍA

8

BIBLIOGRAFÍA

Kyriakopoulosa, G., & Arabatzisb, G. (2016). Electrical energy storage systems in electricity generation: Energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1044-1067.

Abbey, C., & Joos, G. (2007). Supercapacitor Energy Storage for Wind Energy Applications. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 769-776.

Allouhi, A., Kousksou, T., Jamil, A., Bruel, P., & Mo, Y. (2015). Solar driven cooling systems: An updated review. Renew. Sustain. Energy Rev., 159–181.

ANDESCO. (2014). Propuesta de Creación de un Centro de Pensamiento sobre Energía, Servicios Públicos y TIC. Informe final. Bogotá.

Bataineh, K., & Alrifai, S. (2015). Rencent trends in solar thermal sorption cooling system techonology. Adv. Mech. Eng. , 1-20.

Berrada, A., Loudiyi, K., & Zorkani, I. (2016). Valuation of energy storage in energy and regulation markets. Energy, 1109-1118.

Bodin, A. (2011). HVDC Light® - a preferable power transmission system for renewable energies.

Buckles, W., & Hassenzahl, W. (2000). Superconducting magnetic energy storage. IEEE Power Engineering Review .

Burch, J., & et. al. (2014). Evaluation of Solar and Heat Pump System Combinations. IEA-SHC, 1-8.

Castillo, A. (2009). Razón y palabra. Obtenido de Relaciones Públicas y Think Tanks en America Latina, estudio sobre su implementación y acción: www.razonypalabra.org.mx

CIDET-IEB. (2015). Mapas de Ruta para la Materialización de Dos Objetivos Energeticos. Informe Consultoria. Recuperado el Agosto de 2017, de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MapasRuta/Informe_Final_CIDET-IEB-708.pdf

Decreto 2774 (Presidencia de la República 2012).

Decreto 4109 (Presidencia de la República 2011).

Dorn, J., Gambach, H., & Retzmann, D. (2012). HVDC transmission technology for sustainable power supply.

Estudio para la Misión de Crecimiento Verde en Colombia: Estrategia y Acciones Recomendadas en Energía. (18 de Febrero de 2018). Recuperado el 8 de junio de 2018, de https://www.dnp.gov.co/

Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/Presentacion_Recomendaciones_TallerNO2_MCV_20180228.pdf

Frades, M. (2014). A Guide to the lessons learned from the clean cities communitiy electric vehicles readiness project.

Fu, Q., Du, W., Cao, J., & Wang, H. (2015). VSC-based HVDC power transmission for the large-scale offshore wind power - A survey.

García Arbeláez, C., Vallejo López , G., Higgings, M., & Escobar, E. (2016). El acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. Cali: WWF-Colombia.

Godet, M. (2000). The art of scenarios and strategic planning: tools and pitfalls. Technological forecasting and social change, 3-22.

Godet, M., & Durance , P. (2011). La Construcción de Escenarios: Herramienta de La Gerencia Social: para las empresas y los territorios.

Goevert, K., Cloutier, R., Roth, M., & Lindemann, U. (2016). Concept of system architecture database analysis. International Conference on Indutrial Engineering and Engineering Management.

Green Peace. (2015). Energy [R] Evolution.

Guerrero, M. R. (2009). Supercapacitors: Alternative Energy Storage Systems. Page. Przeglad Elektrotechniczny Electrical Review, 188-195. Obtenido de http://peandes.unex.es/archives/P126.pdf

Guerrero, M., Romero, E., Barrero , F., Milanés, M., & González, E. (2009). Supercapacitors: Alternative Energy Storage Systems. Power Electronics & Electric Systems (PE&ES).

Hall, D., & Lutsey, N. (2017). Literature review on power utility best practices regardings electric vehcles. White Paper.

Hall, D., Moultak, M., & Lutsey, N. (2017). Electric vehicle capitals of the world.

Hannan, M., Hoque, M., Mohamed, A., & Ayob. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 69, 771–789.

Hernández-Moro, J., & Martínez-Duarte. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs . Renewable and Sustainable Energy Reviews, 119–132.

Husillos, J. (2006). Círculo para la calidad de los servicios públicos de L'Hospitalet. IV Seminario Inmigración y Europa. Inmigración y Gobierno local: experiencias y retos (págs. 149 - 154). Barcelona: CIDOB. Recuperado el 18 de 09 de 2017, de Fundación CIDOB: http://www.cidob.org/es/content/download/6422/64416/file/14_husillos_cast.pdf

IEA & IRENA. (2017). Perspectives for the energy transition: Investment needs for a low-carbon energy system. Obtenido de /publications/2017/Mar/Perspectives-for-the-energy-transition-Investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system

INADEM. (2017). Instituto Nacional del Emprendedor. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de https://www.inadem.gob.mx/institucional/

Insight_E Observatory. (2017). Insight_E Observatory. Recuperado el 28 de 11 de 2017, de http://www.insightenergy.org/static_pages/our_organisation

IRENA. (2017). Renewable Energy Innovation : Accelerating Research For A Low-Carbon Future.

IRENA. (2018). Renewable power generation cost . Springer reference .

J.I. San Martín1, I. Z. (2011). Energy Storage Technologies for Electric Applications. Las Palmas de Gran Canaria (Spain): International Conference on Renewable Energies and Power Quality.

Janson, N. (2014). Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean.

Kalkman, J., Merhaba , A., Bose, S., & Bradley, H. (2015). Emerging techonolies in Solar PV: indentifying and cultivating potential winners content. Arthur D. Little.

Khetarpal, D. (2016). World Energy Resources: Solar 2016. World Energy Conuncil, 78.

Koster, M. (07 de 05 de 2018). Technological trends and practical examples of Industry 4.0. Obtenido de Weidmüller: http://www.weidmueller.com/int/corporate/news/technological-trends-and-practical-examples-of-industry-4-0

Kukso, F. (07 de 2010). El renacer de la Big Science. Le Monde Diplomatique. Obtenido de http://fkukso.com/post/2145607918/el-renacer-de-la-big-science

Ley 1438 (Congreso de la República 2011).

Luo, X., Wang, J., Dooner , M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. Applied Energy, 511-536.

McLeod, N., Barker, C., & Kirby, N. (2010). Connection of renewable energy sources through grid constraint points using HVDC power transmission systems.

Meier, P., Vagliasindi, M., & Imran, M. (2014). The Design and Sustainability of Renewable Energy Incentives: An Economic Analysis.

MIT. (2015). The Future of Solar Energy . Massachusetts. Obtenido de https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf

Naceur, K., & Gagné, J. (2016). Global EV outlook 2017. International Energy Agency (IEA).

OME. (2017). Observatoire Méditerranéen de l'Énergie. Recuperado el 28 de 11 de 2017, de http://www.ome.org/

OpenDataSoft. (2017). OpenDataSoft. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de https://www.opendatasoft.es/acerca-de-opendatasoft/

OTeCH. (2017). Observatorio Tecnológico de Hidalgo. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de http://otech.uaeh.edu.mx/otech.html

Palop, F., & Vicente, J. (1999). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia competitiva. Su potencial para la empresa española. Cotec.

Polman, A., Knight, M., Garnett, E., Ehrler, B., & Sinke, W. (2016). Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges. Science.

Rappuoli, R., & Medagliuni, D. (2014). Big science for vaccine development. Vaccine, 37 (32), 4705-4707. doi:https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2014.06.071

REN21. (2017). Advancing the global renewable energy transition.

Riahi, K., McCollum, D., & Krey, V. (2012). The next Energy Transition tranformative pathways, choices ans opportunities acknowledges.

San Martín, J., Zamora, I., San Martín, J., Aperribay, V., & Eguía, P. (2011). Energy Storage Technologies for Electric Applications. International Conference on Renewable Energies and Power Quality .

Sánchez Torres, J. M., & Palop, F. (2003). Herramientas de software para la práctica en la empresa de la Vigilancia Tecnológica y la Inteligencia Competitiva. Evaluación Comparativa. . TRIZ.

Scalabre, O. (07 de 05 de 2018). Embracing Industry 4.0—and Rediscovering Growth. Obtenido de BCG: https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx

Secretaría de Economía. (2017). PROSOFT 3.0. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de https://prosoft.economia.gob.mx/preguntas/

SEDECO. (2017). Secretaría de Desarrollo Económico. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de http://www.sedeco.cdmx.gob.mx/secretaria/acerca-de

Shi, G., Chen, Z., & Cai, X. (2011). Overview of multi-terminal VSC HVDC transmission for large offshore wind farm. International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, 1324–1329.

Smart Intelligence. (2017). Observatorio de Inteligencia del Sector Energético. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de http://www.oise.mx/

Stake Holder Forum. (2017). Insight_E Observatory. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de http://www.stakeholderforum.org/fileadmin/files/INSIGHT_E%20brochure%20single%20page.pdf

Tarascon, J., & Armand, M. (2010). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. Materials for Sustainable Energy.

Torgersen, T. (2016). Observatories, think tanks, and community models in the hydrologic and environmental sciences:. Water resource research.

UFCCC. (2015). ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT. Paris: United nations.

UPME. (13 de 05 de 2014). Ley 1715 de 2015. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema eléctrico nacional. Bogotá.

UPME. (Enero de 2015). Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. Bogotá.

WEC. (2014). Global Energy Transitions.

WEC. (2016). World Energy Scenarios. The Grand Transition.

World Energy Council. (2016). World Energy Scenarios. The Grand Transition.

Zeng, R., Xu, L., Yao, L., & Finney, S. (2015). Hybrid HVDC for Integrating Wind Farms with Special Consideration on Commutation Failure. 1-9.

ANEXOS

ANEXO 1: Escenarios Optimista, Pesimista, Inercial y probable para cada una de las dimensiones consideradas en el ejercicio de prospectiva

Escenarios para la dimensión: Sostenibilidad Ambiental

ESCENARIO APUESTA A 2030	
Supuestos considerados: - Las condiciones climáticas se agudizan. - Disrupción de fuentes renovables de energía competitiva. - Desarrollo de tecnologías para usar carbón, combustibles líquidos y gas de manera eficiente y sin riesgo para el ambiente. - Presión internacional por disminuir los GEI.	
Optimista 2030	El país logró la sustitución de la generación de energía basada en combustibles líquidos por fuentes alternativas como solar y eólica. Se alcanzó uno de los proyectos de generación a carbón más importantes para Colombia, con tecnologías High Efficiency Low Emissions (HELE), con ello se alcanzó la meta de COP 21 señalado por Colombia. Durante este período de tiempo se incrementó el liderazgo ambiental en la sociedad y empresas mejorando la transparencia del sector. El país cambió una parte del parque automotor de uso público urbano y particular a vehículos híbridos. Las comunidades implementaron mecanismos directos de participación en las decisiones de explotación de recursos energéticos convencionales.
Optimista 2040	El país ha fortalecido su capacidad científica, a través de la investigación en la química del carbón, reducción del impacto por su uso, captura de emisiones, y en los procesos de combustión, así como la innovación en tecnologías de uso final que han permitido la transformación del carbón para su uso eficiente. A nivel internacional, Colombia cuenta con aliados con los cuales se implementa el programa de intercambio comercial con base en la huella de carbono, de manera que los productos importados y exportados por el país no generen una huella de carbono tan grande en puerto, o en su defecto se realice una compensación económica. El incremento en la implementación de la movilidad eléctrica es otro de los hechos importantes que se dio en el país y ha contribuido altamente a la sostenibilidad ambiental. Precisamente, el incremento se dio por la penetración de vehículos eléctricos para uso particular y masivo en los principales centros urbanos del país. En el transcurso de este período, las comunidades continúan participando con mayor información, conocimiento y criterios en las decisiones de explotación de recursos energéticos.
Optimista 2050	La generación con fuentes renovables de energía cambió la matriz energética, acercándose al equilibrio con las fuentes convencionales y se ha implementado varios proyectos de generación a carbón con tecnologías HELE. Las principales ventas del sector automotriz están asociadas a los vehículos eléctricos, ampliando hacia el transporte de carga. El crecimiento económico del país se desligó de la generación de GEI y el comercio internacional de Colombia se realiza con base en etiquetas verdes de producto y/o aranceles por mayor huella de carbono. Todos los proyectos de explotación energética incluyen el concepto de las comunidades.
Pesimista 2050	El país continuó con la generación de energía a base de combustibles líquidos, lo cual afecta considerablemente la sostenibilidad ambiental del país. Esto ocasiona que no se cumpla con la meta COP21 y el gobierno incremente anualmente el pago de impuestos a la emisión de carbono por parte de las industrias y las empresas que residen en el país.
Inercial 2050	Una pequeña parte de los proyectos prototipo de energía renovable se logró desarrollar y llevar a buen término, los demás fallaron en su diseño o implementación por desacuerdo entre actores, apoyo institucional y en otras ocasiones por falta de recursos financieros. El gobierno colombiano incrementó los impuestos por generación de GEI, debido a que la industria nacional continuó el con el uso de combustibles líquidos para la generación eléctrica.

ESCENARIO APUESTA A 2030	
Probable 2050	Se reemplazó la generación eléctrica con combustibles líquidos por fuentes renovables de energía y esto fue acompañado del incremento en el liderazgo ambiental por la sociedad civil y el sector industrial. Se implementó tecnologías para la gestión eficiente de la energía, pero el país no generó las oportunidades para el sector altamente intensivo en energía, En general, el país no alcanzó a cumplir con los Objetivos COP 21.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Participación Activa de la Demanda

DIMENSIÓN: PARTICIPACIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA	
Supuestos considerados: - Se cuenta definida una política nacional. - Se cuenta definido el marco legal y regulatorio apropiado, socialización y divulgación sobre oportunidades de negocio. - El país cuenta con la infraestructura de redes de distribución inteligentes. - Se fomenta la cultura energética	
Optimista 2030	25% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; 10% de los usuarios industriales adoptan esquemas de participación activa de la demanda; el 95% de usuarios urbanos y el 50% de los usuarios rurales del país cuentan con la tecnología AMI. Están definidos y reglamentados programas de incentivos y de precios variables en el tiempo. Se definen planes de actualización de los sistemas eléctricos de cara a las necesidades generadas por una participación activa de la demanda, que incluye la micro-generación con energías renovables, posibilidades de desconexión del SIN y suavización de la curva de demanda fomentado por el acceso a la información en tiempo real y el acceso a micro-redes.
Optimista 2040	50% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; 20% de los usuarios industriales adoptan esquemas de participación activa de la demanda. Están definidos y reglamentados programas de incentivos y de precios variables en el tiempo. La tecnología AMI tiene una amplia difusión en usuarios industriales y se han realizado pilotos exitosos a nivel doméstico. Se implementaron soluciones adaptadas al sector rural y zonas remotas tales como generación distribuida o soluciones individualizadas. Los usuarios residenciales y rurales adoptan comportamientos para optimizar el uso racional de la energía en sus labores diarias. Los principales proyectos de infraestructura para la participación activa de la demanda incluyendo tecnologías AMI se terminaron, cubriendo las principales cabeceras urbanas.
Optimista 2050	100% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; 30% de los usuarios industriales adoptan esquemas de participación activa de la demanda; el 100% de usuarios urbanos y el 100% de los usuarios rurales del país cuentan con la tecnología AMI. Están definidos y reglamentados programas de incentivos y de precios variables en el tiempo. El país cuenta con una infraestructura AMI completa y soluciones complementarias para sector rural y otros casos particulares de industrias en zonas remotas o de acceso difícil o restringido.
Pesimista 2050	10% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; sin embargo, ninguno de ellos adopta estos esquemas. Hay total desconocimiento de programas de incentivos y de precios variables en el tiempo. La cantidad de medidores inteligentes instalados es despreciable frente al número total de usuarios a nivel nacional. Se tiene conocimiento de proyectos de generación distribuida, pero su implementación es insignificante frente a la canasta energética nacional

DIMENSIÓN: PARTICIPACIÓN ACTIVA DE LA DEMANDA	
Inercial 2050	20% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; 10% de los usuarios industriales adoptan esquemas de participación activa de la demanda. Se conocen los programas de incentivos y de precios variables en el tiempo, pero no están definidos ni reglamentados Existen iniciativas de medición inteligente, pero son incipientes y no aprovechan todas sus funcionalidades. Se han implementado soluciones individuales de generación distribuida.
Probable 2050	40% de los usuarios industriales conocen sobre los esquemas de participación activa de la demanda; 15% de los usuarios industriales adoptan esquemas de participación activa de la demanda. Se conocen los programas de incentivos y de precios variables en el tiempo y algunos están definidos y reglamentados Existen iniciativas de medición inteligente, que no aprovechan todas sus funcionalidades. La tecnología AMI tiene una difusión media en usuarios industriales y se han realizado pilotos exitosos a nivel residencial. Se implementaron soluciones adaptadas al sector rural y zonas remotas tales como generación distribuida o soluciones individualizadas. Los usuarios residenciales y rurales comenzaron a adoptar comportamientos para optimizar el uso racional de la energía en sus labores diarias.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Fuentes de energía

DIMENSIÓN: FUENTES DE ENERGÍA	
Supuestos considerados: - Las tecnologías de energía No convencionales con mayor potencial: Solar (mayor proyección), Eólica (buena proyección) y Biomasa - Las tecnologías de energía convencionales con mayor potencial: Hidráulica, gas, carbón, petróleo	
Optimista 2030	En el sector eléctrico, las fuentes no convencionales de energía (solar, eólica y biomasa) empiezan a ser representativas en la matriz. La energía hidroeléctrica sigue siendo la preponderante y luego de tener un pico a comienzos de la década, con los últimos megaproyectos empieza a descender su participación y las consecuencias de la variabilidad climática empiezan a ser mitigadas debido a la diversificación de la matriz con solar, eólica y otras fuentes. Ha aumentado la participación de la biomasa, la cual junto con el gas natural y el carbón son usadas para garantizar el suministro, en combinación con las otras fuentes. El petróleo ha reducido su participación en el sector transporte y ha sido reemplazado por gas natural, autos híbridos y biocombustibles.
Optimista 2040	Las fuentes no convencionales de energía (solar, eólica y biomasa) empiezan a ser representativas en la matriz energética del país. La energía hidroeléctrica disminuye su participación, aunque sigue siendo la principal fuente de generación de energía eléctrica para el país. Hoy se presenta una matriz más diversificada, complementada por las fuentes fósiles convencionales. En el sector transporte, el petróleo continuó reduciendo su participación, y pese a ser representativo, la penetración de los vehículos eléctricos y el aumento en la producción de biocombustibles, acelera la disminución del uso de combustibles fósiles para el transporte.
Optimista 2050	Las fuentes no convencionales de energía pasan a ser "convencionales" entrando a participar en equilibrio con las fuentes de energía tradicionales. De esta forma, en el sector eléctrico hay equilibrio de las diferentes fuentes y se ha obtenido un portafolio de generación ampliamente diversificado, mitigando el riesgo por la variabilidad climática. En el sector transporte, las tecnologías de autos eléctricos y combustibles alternos son perfectamente competitivas frente a los vehículos tradicionales de combustión interna y se evidencia que a medida que se hace el reemplazo normal de vehículos, las tecnologías se reemplazan.

DIMENSIÓN: FUENTES DE ENERGÍA	
Pesimista 2050	La penetración de las tecnologías no convencionales es muy baja, es muy poco representativa de la matriz energética. Es predominante la energía hidroeléctrica, seguida de las térmicas a gas y a carbón. Esto mantiene al sector eléctrico en una gran volatilidad debido a la alta variabilidad climática. La participación del petróleo y sus derivados en el sector de transporte se mantiene muy alto, dejando el porcentaje restante para GNV y biocombustibles.
Inercial 2050	La energía hidroeléctrica continúa siendo la más preponderante, sin embargo, la posibilidad de desarrollar nuevos megaproyectos se ve muy limitada por restricciones ambientales y sociales. Las fuentes no convencionales de energía (eólica y solar) penetran en el mercado a medida que disminuyen sus costos por curvas de aprendizaje y economías de escala. Los proyectos de combustibles fósiles disminuyen, pero son relevantes especialmente para asegurar el suministro. De igual forma, aumenta la participación de la biomasa. En el sector transporte, por la tendencia tecnológica y restricciones ambientales, las nuevas tecnologías (autos eléctricos, híbridos) penetran el mercado, facilitándose por las curvas de aprendizaje y de economías de escala.
Probable 2050	La hidroelectricidad sigue siendo la fuente más relevante, pero las energías alternas (en especial la solar y luego la eólica) vienen a ser adoptadas, en especial por la disminución de costos y el desarrollo tecnológico. La energía de biomasa aumenta su participación, optimizándose en fuentes de biomasa residual (cuando se obtiene energía a partir de desechos tales como bagazo, material vegetal, residuos urbanos, etc.), y es probable que se desarrollen algunos proyectos de biomasa orientados a la generación de energía. Las fuentes fósiles (gas y en especial el carbón) siguen siendo relevantes para garantizar la estabilidad del sistema. En el sector transporte, el petróleo mantendrá su participación a medida que se operen los cambios tecnológicos de los fabricantes de automóviles y se modernicen los sistemas de transporte público y de carga.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Equidad Energética

DIMENSIÓN: EQUIDAD ENERGÉTICA	
Supuestos considerados: - Aumento de cobertura progresiva por medio de soluciones energéticas sostenibles - Apropiación tecnológica aplicada a cobertura - Política clara para alcanzar la cobertura total	
Optimista 2030	A través de la aplicación y madurez de los desarrollos normativos (formulas tarifarias, ZNI, expansión de cobertura en áreas de posconflicto, planes nacionales de desarrollo y AMI, entre otros) se favoreció la inserción tecnológica que permitió a los agentes un incremento en cobertura a nivel de usuarios: residencial, comercial e industrial. El reto se encuentra en el mejoramiento de calidad de la cobertura. Particularmente, en lo relacionado con la cobertura energética de las áreas remotas se han desarrollado soluciones exitosas a partir de GD.
Optimista 2040	El país desarrolló de forma masiva la medición inteligente, tecnologías prepago, uso masivo de baterías, generación distribuida (GD), paneles solares, las cuales en conjunto con la regulación adecuada permiten soluciones auto- sostenibles para lograr la totalidad de la cobertura. Es así como se mejoró la cobertura.
Optimista 2050	En el camino del mejoramiento de la equidad energética se implementaron micro-redes auto-sostenibles, el uso de energéticos costo-eficientes y el establecimiento de precios competitivos sin subsidios cruzados. Con estos logros se mejoró la integración entre las micro-redes. En este período ya se cuenta con una cobertura muy cercana al 100% con indicadores de calidad competitivos.
Pesimista 2050	Las señales de política, precios de tecnología y normatividad no permiten la implementación de soluciones para la ampliación de cobertura, lo cual a su vez no permite mejorar la competitividad del sector y país en comparación con el entorno internacional.
Inercial 2050	Se amplió la cobertura a través de las herramientas existentes con soluciones energéticas abordadas mediante las leyes y normatividades existentes (Ley 1715, decretos de expansión, metodologías de distribución y normatividad ZNI, entre otros).

DIMENSIÓN: EQUIDAD ENERGÉTICA	
Probable 2050	En complemento a la normatividad y leyes existentes (Ley 1715, decretos de expansión, metodologías de distribución, normatividad ZNI, fondos FAER y FAZNI, entre otros), los agentes dieron continuidad a los programas de ampliación de cobertura por medio de inversión en tecnologías disponibles tanto en ZNI como en el SIN, este último con un papel importante de los Operadores de Red.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Plataforma Tecnológica

DIMENSIÓN: PLATAFORMA TECNOLÓGICA	
Supuestos considerados: - Economía Digital - Ciudades Inteligentes (Smart Cities)	
Optimista 2030	En los primeros años de la transición energética del país (2020-2025) el gobierno, a través del trabajo conjunto entre el MME, MINTIC y la CREG y MINTIC, actualizó las normas y códigos técnicos del sector energético para la medición inteligente. En tal sentido, las tecnologías 4.0 (Inteligencia Artificial - Internet de las Cosas - BlockChain - Big Data) han permitido la convergencia tecnológica como elementos habilitantes para mejorar los procesos de comunicación y transacción entre los agentes del sector y los usuarios. La plataforma tecnológica del sector energético ha contribuido en llevar a cabo la estrategia de Smart Cities en Colombia, a través de la implementación de proyectos piloto en las ciudades de Bogotá, Cali y Medellín. Otro de los resultados importantes de la plataforma tecnológica del sector energético del país, que incluye entre otros aspectos la ciber-seguridad, se concentra en la captura, procesamiento y análisis encriptado de la información, cuyo resultado ha contribuido con la toma de decisiones de los agentes del sector.
Optimista 2040	La plataforma tecnológica ha permitido consolidar al sector energético inteligente en la medida que muchas de las operaciones y transacciones del sector se encuentran automatizadas y controladas por las tecnologías 4.0 en la cual los actores son parte del proceso de la consolidación del sector. Hoy se presenta interoperabilidad Energía-TIC - TIC-Energía, lo cual significa códigos compartidos entre los dos sectores, lo que ha potenciado la implementación de la estrategia de Smart Cities en Colombia, mejorando la eficiencia energética y las aplicaciones para los usuarios. La CREG continuó la validación y actualización de las políticas, normas, códigos y regulaciones del sector, incluyendo el componente tecnológico.
Optimista 2050	La interoperabilidad Energía-TIC - TIC-Energía emigra a otros sectores: salud, transporte, turismo y educación, aumentando la eficiencia y eficacia de tales sectores. Hoy el país cuenta con un sector totalmente inteligente y es modelo referente para Latinoamérica. La evolución de tecnologías 4.0 a 5.0 ha sido debidamente apropiada en el sector y contribuyen con la competitividad del mismo. La CREG continuó la validación y actualización de las políticas, normas, códigos y regulaciones del sector, incluyendo el componente tecnológico.
Pesimista 2050	El sector energético de Colombia no ha logrado integrar y adoptar la evolución tecnológica, entre ellas, las tecnologías 4.0, afectando notablemente la competitividad del sector y por ende, el desarrollo económico, humano y social del país.
Inercial 2050	Las acciones encaminadas hacia la convergencia e interoperabilidad tecnológica del sector presentan fallas, debido a aspectos legales, formación de capital humano, costos de transacción y poca viabilidad en el tema de infraestructura tecnológica. El marco normativo y regulatorio del sector no estableció reglas claras para incorporar las plataformas tecnológicas relacionadas con la eficiencia energética, lo cual no permite una adecuada integración de las tecnologías como Big Data y Ciber-seguridad, Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial para la gestión, control y toma de decisiones en el sector energético

DIMENSIÓN: PLATAFORMA TECNOLÓGICA	
Probable 2050	El sector energético invierte en plataformas tecnológicas, pero no ajusta su infraestructura (técnica, humana e institucional), lo cual genera la inadecuada optimización de los procesos del sector. Colombia incorporó en su marco normativo y regulatorio el fomento de las plataformas tecnológicas del sector, sin embargo, prevalecen intereses de acuerdo con los objetivos de los actores en materia de competitividad, regulación y costo-beneficio

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Modelo de negocios

DIMENSIÓN: MODELO DE NEGOCIOS	
Supuestos considerados: - Cambio en la configuración de actores de mercado del sector energético (agregadores de energía, cogeneradores y autogeneradores, otros) - Creación de servicios anexos del sector energético (venta de almacenamiento de energía, servicios de vehículos eléctricos, procesamiento de información energética, distritos térmicos, etc.) - Los usuarios de energía eléctrica tendrán una participación más activa en los modelos de negocio. - Cambio en el modelo de negocio de los actores tradicionales de sector energético para adaptarse a las condiciones de la transición energética (empresas de energía eléctrica, comercializadores, petroleras, transmisión, etc.)	
Optimista 2030	El marco regulatorio del país se encuentra adecuado y permite la participación armónica de los actores e incentiva el desarrollo de modelos de negocio emergentes. El sector ha generado nuevos servicios, los cuales han sido reconocidos por los usuarios finales. La ampliación de la oferta, a través de tales servicios, ha contribuido para que el precio de energía eléctrica tienda a la baja. Las empresas que tradicionalmente han liderado el mercado, cuentan con líneas nacientes relacionadas con la sustitución de fuentes tradicionales y los usuarios finales están concientizados, conocen los mecanismos de participación y entienden los nuevos modelos de negocio del sector.
Optimista 2040	Se presenta la participación significativa de actores no tradicionales en los mercados energéticos. Las empresas que tradicionalmente han liderado el mercado, han migrado sus líneas de negocio principales a otras relacionadas con sustitución de fuentes tradicionales. El país cuenta con una oferta consolidada y competitiva servicios de apoyo a vehículos eléctricos, procesamiento de información energética y agregación de demanda.
Optimista 2050	El país cuenta con una oferta consolidada y competitiva en servicios conexos del sector energético, como infraestructura para vehículos eléctricos, procesamiento de información energética y agregación de demanda. Los usuarios residenciales e industriales participan activamente en el mercado, guiados por señales generadas por los actores del sector en tiempo real.
Pesimista 2050	La composición del sector energético se mantiene. Los actores de mercado realizaron algunas incursiones en fuentes no convencionales de energía, pero los proyectos fueron dejados de lado para fortalecer la generación tradicional. Ha existido una fuerte presión de los actores para mantener los esquemas tradicionales del sector. Los gobiernos no han tenido posturas disruptivas frente al sector y no han generado esquemas para fomentar la transición. Los usuarios de energía no han sido proclives a una participación activa en el modelo. Aunque se han hecho algunos esfuerzos por promover su empoderamiento, no se ha logrado consolidar una infraestructura adecuada, lo que ha generado rechazo por parte de los usuarios que no ven resultados tangibles, fortaleciendo los modelos poco flexibles. El país es muy débil en capacidades anexas a la transición energética. La falta de capacidades ha dificultado la penetración de nuevas tecnologías y modelos de negocio que ya están consolidados en países desarrollados y en muchos países latinoamericanos. Los servicios especializados relacionados con la transición energética requeridos por las compañías o usuarios finales son subcontratados en el exterior.

DIMENSIÓN: MODELO DE NEGOCIOS	
Inercial 2050	Los actores de mercado más fuertes han entrado en algunas áreas de negocio relacionadas con la transición energética, atendiendo a respuestas débiles generadas por el mercado. Algunos nuevos actores han hecho intentos por generar nuevas líneas de negocio, pero en su mayoría las iniciativas no se han consolidado y no se observa un mercado diferenciado. Los servicios complementarios se atienden con algunas empresas, personas naturales y programas de capacitación aislados, desarrollados informalmente en función de la demanda constituida.
Probable 2050	Las empresas de energía han aumentado su participación en proyectos de FNCER implementando los proyectos planteados desde la reglamentación de la 1715, pero mantienen su fuente tradicional de negocio en hidroenergía, carbón y combustibles líquidos. El sector de prestación de energía al usuario final ha hecho algunos cambios, pero la fuerza sobre las decisiones de mercado se mantiene en las empresas de energía con poca participación del usuario final. Los aspectos principales de la ley 1715 se reglamentaron, pero algunos no llegaron a ser una realidad, aunque se han desarrollado iniciativas posteriores para darles fuerza nuevamente. Las iniciativas gubernamentales han estado motivadas principalmente por los compromisos ambientales internacionales adquiridos. Algunos gobiernos han tendido a dar más fuerza que otros a este aspecto, pero en general se ha buscado mantener la posición destacada del país en esta área. Esto ha atraído algunos actores al mercado que en gran medida han buscado su financiación a través de fondos multilaterales. Otros aspectos ambientales (principalmente la calidad del aire), han impulsado medidas en algunas ciudades, principalmente en las más afectadas como Bogotá y Medellín, por lo que en estos lugares se cuenta con avances más notorios frente al resto del país y se han generado modelos de negocio anexos. En el área de transporte han ingresado algunos vehículos eléctricos al país motivados por incentivos tributarios y otros incentivos con poca fuerza. El gas ha aumentado su participación frente al uso de combustibles líquidos, principalmente en flota de carga y los usuarios finales no se sienten motivados a cambiar sus medios de locomoción, por lo que tampoco existe un mercado anexo fuerte. También se han promovido algunos pocos distritos térmicos en parques industriales de Bogotá y Medellín, exitosos, pero se mantienen como acciones aisladas. Los servicios complementarios se atienden con algunas empresas, personas naturales y programas de capacitación aislados, desarrollados informalmente en función de la demanda constituida.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Usos de la Energía

DIMENSIÓN: USOS DE LA ENERGÍA	
Supuestos considerados: - Uso de la energía en calentamiento y transporte - Aceleración de la urbanización - Electrificación creciente - Crecimiento de la demanda en países de desarrollo (30%) - Crecimiento de la demanda de energía en el transporte en función del crecimiento del parque automotor y de los viajes realizados en los principales centros urbanos del país.	
Optimista 2030	Colombia estableció las condiciones normativas y de política nacional en torno a la electrificación del transporte, mediante la consolidación y articulación al CONPES. Colombia articuló la ciencia, la tecnología y la innovación con el sector energético para promover la creación y consolidación de habilidades, y capacidades técnicas para la electrificación del transporte. De igual manera, mediante la política fiscal y los lineamientos de competitividad del país, se desarrollaron las condiciones adecuadas para la infraestructura y convergencia energética para el sector movilidad. Se han desarrollado programas de incentivos y promoción interinstitucionales (gobierno, industria, academia y sociedad) para adoptar soluciones eficientes para calentamiento, enfriamiento y cocción, y fomentar su desarrollo tecnológico.

DIMENSIÓN: USOS DE LA ENERGÍA	
Optimista 2040	El incremento del parque automotor eléctrico en el país, como medida para reemplazar los combustibles fósiles en vehículos, potenció el uso de la energía eléctrica en la movilidad a nivel urbano. Se cuenta con una infraestructura física de estaciones de recarga para vehículos eléctricos en las principales carreteras del país y las empresas del sector energético cuenta con modelos de negocio para atender la demanda y necesidades de la movilidad eléctrica. Una pequeña parte de la demanda de calentamiento, enfriamiento y cocción a nivel industrial, que tradicionalmente se suplía a través de fuentes de combustibles fósiles, hoy cambió su fuente por energía eléctrica y energía solar térmica, entre otras.
Optimista 2050	La movilidad eléctrica en el país es una realidad, una importante parte del parque automotor, particular y de carga, se abastece de energía eléctrica. Colombia cuenta con un modelo exitoso de movilidad eléctrica, el cual es referente latinoamericano. El trabajo interinstitucional entre el gobierno, las empresas del sector energético, los fabricantes y concesionarios de vehículos y las universidades ha logrado aumentar la demanda de este tipo de vehículos, así como tecnologías para aumentar su eficiencia energética. Los proyectos de movilidad se enfocaron en medios de transporte masivo como cables eléctricos, metros y líneas de trenes abastecidas con energía. Hoy el tren de cercanías de Bogotá es 100% eléctrico y ciudades como Cali, Bogotá y Barranquilla han implementado soluciones mixtas de transporte masivo eléctrico.
Pesimista 2050	El sector energético de Colombia no logró atender la demanda creciente en temas de movilidad eléctrica, calentamiento y cocción. En tal sentido, el sector pierde competitividad y no aporta al desarrollo del sector transporte e industrial.
Inercial 2050	El sector energético responde tangencialmente a las demandas de movilidad eléctrica del país y no se consolida como proveedor para calentamiento y cocción a nivel industrial.
Probable 2050	El sector energético responde oportunamente para desarrollar el modelo de movilidad eléctrica, con ello mejora la competitividad del sector y responde a la demanda industrial creciente en temas de calentamiento y cocción.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

Escenarios para la dimensión: Seguridad Energética

DIMENSIÓN: SEGURIDAD ENERGÉTICA	
Supuestos considerados: - Aumento de las SmartGrids, Generación Distribuida y Micro-redes. - Diversificación de la canasta energética - Adopción de nuevas tecnologías para el sector transporte y producción de energía. - Integración de energías renovables para soluciones energéticas.	
Optimista 2030	La seguridad energética del país es uno de los aspectos más importantes de la transición energética. Se desarrollaron pilotos exitosos de SmartGrids, micro-redes y generación distribuida en las principales ciudades del país y en zonas no interconectadas. Se cambió el esquema de cargo por confiabilidad, enfocando el incentivo de la energía en firme a plantas de generación con energías renovables no convencionales. Se logró la aprobación de los planes de expansión para el establecimiento de plantas eólicas y solares con sistemas de almacenamiento en puntos estratégicos del país, y se avanza con rapidez en estudios de conversión eficiente de biomasa a combustible. El gas empieza a ser usado masivamente en el sector transporte de carga y se plantean proyectos de regasificación de plantas térmicas para los próximos años.

Optimista 2040	Hoy se cuenta con la ejecución de proyectos a gran escala de plantas de generación solar y eólica con sistemas de almacenamiento eficientes. Las plantas de regasificación están en funcionamiento y tienen un papel complementario al del gas natural de fuentes locales, el cual aumentó con las reservas probadas encontradas en las últimas dos décadas. En cuanto al sector transporte, se construyó la infraestructura necesaria (estaciones de recarga) para los vehículos eléctricos, aumentando su demanda. El transporte público masivo, en su mayoría es eléctrico y la biomasa se presenta como combustible atractivo en diferentes aplicaciones industriales y para producción de energía. Otro aspecto importante de la seguridad energética fue el desarrollo de mejores pronósticos del consumo de energía a través de la gestión de datos producida por dispositivos AMI, que permiten una planeación adecuada para evitar periodos de escasez.
Optimista 2050	Se integraron las plantas de generación eólica y solar al sistema de potencia, para respaldar a las plantas hidroeléctricas en periodos de baja hidrología, con lo cual se logró la seguridad energética del país y la no dependencia de otros países o de las fuentes fósiles. La participación de los combustibles fósiles en la matriz eléctrica es bajo y se asocia mayoritariamente a plantas de gas. El sector transporte de carga funciona a través de gas natural, y es masivo el uso de vehículos eléctricos.
Pesimista 2050	El país presenta un panorama de reducción o agotamiento de las reservas de gas natural. El incentivo del cargo por confiabilidad sigue siendo el mismo y no se incentivan las energías renovables lo que provoca poca diversificación de la canasta energética. De igual manera, se presenta una incorrecta implementación de los pilotos con micro-redes y generación distribuida. En relación con el transporte, no se realizó el cambio en la tecnología asociada al transporte masivo ni de carga, y este sector se sigue abasteciendo, principalmente, de combustibles fósiles. Los fenómenos climáticos extremos tienen mayor impacto en la seguridad energética del país, han aumentado su intensidad en la última década y continuamente el sistema eléctrico colombiano se ha visto amenazado por esta situación sin soluciones totalmente efectivas para su mitigación. Durante la última década estos fenómenos sumados a contingencias en el sector eléctrico y baja articulación de las renovables con el Sistema de Interconexión Nacional (SIN), llevaron a un racionamiento de energía con implicaciones para la economía, presionando nuevas reformas al sector.
Inercial 2050	La seguridad energética del país se ve muy amenazada debido a los fenómenos climáticos adversos que generan sequía, se han agotado las reservas y las centrales térmicas no abastecieron las necesidades energéticas del país. El gas permanece como el energético de mayor importancia para el país, pero las tarifas han aumentado como consecuencia de la dependencia del GNL importado de mercados extranjeros. El país presenta escasez en sus reservas. El petróleo se mantiene como Commodity, impactando en aspectos económicos del país, pero no mejora su seguridad energética.
Probable 2050	La seguridad energética de Colombia ha mejorado debido a que se convierten a gas todas las plantas térmicas y se aumentó el uso de energías renovables, micro-redes y generación distribuida. Se han generado algunos esquemas de regulación para la integración de renovables que tienen pequeños aportes a la seguridad energética, lo cual es benéfico para asegurar la matriz energética nacional. No obstante, muchos aspectos se han reglamentado a una velocidad menor a la de la penetración de tecnología, y el país aún tiene rezagos en el planteamiento de un sistema que asegure totalmente el suministro energético oportuno.

Fuente: Talleres de prospectiva Transición Energética 2050 (2018)

ANEXO 2: Acciones y líderes para los escenarios apuesta 2030-2040-2050

Componente	Acciones		
	Escenario 2030	**Escenarios 2040**	**Escenario 2050**
Sostenibilidad ambiental	1. Modificaciones regulatorias con estabilidad jurídica que promuevan la inserción de las fuentes no convencionales de energías renovables a precios competitivos para el usuario final. 2. Definición de una política energética a largo plazo para el país que promueva y declare la transición energética como base de desarrollo competitivo, alineando los diferentes organismos del gobierno nacional. 3. Promover las correcciones regulatorias que permitan e incentiven la inclusión de fuentes no convencionales de energía, promoviendo la competitividad y confiabilidad.	1. Modificaciones regulatorias con estabilidad jurídica que promuevan la inserción de las fuentes no convencionales de energía a precios competitivos para el usuario final. 2. Definición de una política energética a largo plazo que promueva y declare la transición energética como base de desarrollo competitivo, alineando los diferentes organismos del gobierno nacional. 3. Incentivar programas universitarios para generar profesionales en la gestión eficiente de energía.	1. Modificaciones regulatorias con estabilidad jurídica que promuevan la inserción de las fuentes no convencionales de energía a precios competitivos para el usuario final. 2. Definición de una política energética a largo plazo que promueva y declare la transición energética como base de desarrollo competitivo, alineando los diferentes organismos del gobierno nacional. 3. Implementación de tecnologías para la gestión eficiente de la energía, implementación de sistemas de certificación de uso eficiente de energía.
	Líderes de acciones: Presidencia de la República – MINHACIENDA – MINMINAS – MINAMBIENTE – MINEXTERIOR – DNP – UPME - Universidades - CREG		
Fuentes de energía	1. Regulación que permita sesgo tecnológico (favorecer a ciertas tecnologías) por razones ambientales. 2. Favorecer la mejora en la confiabilidad del sistema eléctrico a partir de fuentes no convencionales 3. Incrementar el rigor de las regulaciones ambientales para fuentes fijas y móviles. 4. Apropiación y desarrollo de nuevas tecnologías. 5. Compromiso de las empresas del sector para impulsar las energías no convencionales. 6. Participación activa en el protocolo de Kioto y compromiso para reducir emisiones GEI y contaminantes locales. 7. Seguimiento de costos de las tecnologías para dar señales regulatorias y de oportunidad de negocios.	1. Incluir restricciones ambientales para grandes proyectos de generación de energía. 2. Elegir tecnologías de energías renovables que reduzcan significativamente sus costos y hacer seguimiento a éstos para dar señales de regulación en el momento apropiado. 3. Restricciones ambientales para la renovación de flotas de vehículos que favorezcan las fuentes no convencionales en el sector transporte. 4. Favorecimiento de la diversificación de fuentes en la regulación. 5. Compromiso en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes locales.	1. Rigor en el cumplimiento de requerimientos ambientales. 2. Compromiso del gobierno y entidades territoriales para el medio ambiente. 3. Compromiso en reducción de emisiones de invernadero y locales. 4. Vigilancia tecnológica 5. Adaptación del marco regulatorio a la diversidad de tecnologías.
	Líderes de acciones: MINMINAS – Reguladores - Alcaldías (Gobiernos Municipales) - Empresas del sector – Universidades - Observatorio de Energía		

Componente	Acciones		
	Escenario 2030	**Escenarios 2040**	**Escenario 2050**
Participación activa de la demanda	1. Revisión y organización del marco regulatorio relacionado con la gestión de demanda (tarifas diferenciadas, programas de incentivos, modelos de negocio como agregadores, venta de excedentes a la red de usuarios regulados). 2. Realización de ajuste o reforma del marco regulatorio. 3. Elaboración de cartilla didáctica sobre la gestión de demanda, dirigida diferencialmente a usuarios industriales, residenciales y comerciales 4. Convocatoria a comercializadores de energía, a través de la Superintendencia de Servicios Públicos para dar a conocer sus programas de gestión de la demanda y la divulgación a sus usuarios. 5. Convocatoria a usuarios industriales a través de la ANDI, para dar a conocer los programas de gestión de la demanda, sus beneficios, así como la socialización de la cartilla didáctica. 6. Establecer estándares de infraestructura de redes inteligentes. 7. Disponibilidad de redes de distribución inteligentes que cuenten con bidireccionalidad de potencia y comunicaciones, y centros de gestión de información.	1. Implementación de un marco regulatorio y de incentivos para el fomento de la generación en sitio y micro-redes 2. Ejecución de un programa de pedagogía energética, como lineamiento nacional, que incluya ventajas de tecnologías AMI, tarifas diferenciadas y uso eficiente de la energía. 3. Establecimiento de un marco regulatorio detallado de esquemas de financiamiento para la instalación y operación de redes inteligentes (potencia, comunicaciones y gestión de la información) 5. Definición de centros de gestión de la medida.	1. Disponibilidad total de redes de distribución inteligentes con 100% de operabilidad de potencia, comunicaciones y gestión de la información. 2. Disponibilidad total de centros de gestión de la medida. 3. Marco regulatorio detallado frente a cada programa de respuesta a la demanda, establecimiento de mercados de agregación, incentivos al uso de nuevas tecnologías y fomento de cultura energética.
	Líderes de acciones: UPME-CREG-Superservicios, ASOCODIS, ACOLGEN, Comercializadoras de Energía, Universidades		
Equidad energética	1. Plan Nacional de Desarrollo en línea con el objetivo de incremento de cobertura. 2. Señales adecuadas de regulación (oportunidades de mejora comercialización). 3. Incentivos para inserción tecnológica. 4. Señales de costo beneficio a través de convocatorias 5. Inversiones por parte de fondos gubernamentales. 6. Inversiones sector privado 7. Seguimiento a metodología PERS	1. Señales adecuadas de regulación (oportunidades de mejora) 2. Incentivos para inserción tecnológica 3. Inversiones por parte de fondos gubernamentales 4. Inversiones del sector privado 5. Seguimiento a PERS 7. Inserción de nuevas tecnologías en reconocimiento de inversión en la regulación	1. Operadores de micro-redes 2. Empoderamiento usuarios
	Líderes de acciones: MINMINAS – UPME – CREG – Agentes del sector		

Componente	Acciones		
	Escenario 2030	**Escenarios 2040**	**Escenario 2050**
Seguridad energética	1. Fortalecer el esquema del cargo por confiabilidad 2. Establecer condiciones de mercado para atraer inversión en energías renovables 3. Asegurar iniciativas que incentiven la investigación y desarrollo 4. Articulación de actores (gobierno-academia-observatorio) para realizar pronósticos más precisos del consumo de energía. 5. Diseñar una política energética coherente. 6. Desarrollo de micro-redes con generación distribuida para ZNI.	1. Establecer condiciones de mercado para atraer inversión en energías renovables. 2. Asegurar iniciativas que incentiven la investigación y desarrollo. 3. Realizar pronósticos más precisos del consumo de energía. 4. Diseñar una política energética coherente. 5. Desarrollo de micro-redes con generación distribuida para ZNI.	1. Establecer políticas de desarrollo para el transporte. 2. Generar incentivos para el uso de vehículos eléctricos. 3. Generar la infraestructura adecuada para el transporte eléctrico. 4. Facilitar la entrada de transporte eléctrico al país. 5. Promover el uso de vehículos eléctricos
	Líderes de acciones: MINMINAS (Gobierno) – Universidades - Observatorio de Energía – IPSE – FAZNI – CREG - UPME.		
Plataforma tecnológica	1. Política de Big Data y tecnologías 4.0. 2. Actualización de normas, códigos y regulaciones. 3. Formación de masa crítica en tecnologías 4.0. 4. Política de ciudades inteligentes. 5. Desarrollo de aplicaciones e infraestructura para convergencia tecnológica de tecnologías 4.0 para el sector energético. 6. Seguimiento de tecnologías 4.0. 7. Desarrollo de plataforma Big Data para el sector.	1. Actualización del marco normativo y regulatorio. 2. Seguimiento a tecnologías 4.0 a nivel mundial.	1. Actualización del marco normativo y regulatorio. 2. Seguimiento a tecnologías 4.0 a nivel mundial.
	Líderes de acciones: MINTIC – MINMINAS – UPME – CREG – ICONTEC – Universidades – DNP - SpinOff-StartUp TIC - Observatorio de Energía		
Modelos de negocio	1. Establecimiento de regulación adecuada. 2. Concientización de usuarios finales. 3. Fomento del FENOGE como opción de financiación para líneas relacionadas con eficiencia energética y FNCE. 4. Incentivos gubernamentales para las FNCE. 5. Campañas de sensibilización e información de los programas disponibles para acceder a los incentivos y beneficios de las FNCE. 6. CIDET u otras entidades crean programas para el fomento de la innovación en las empresas del sector.	1. Campañas de sensibilización e información sobre los servicios del sector energético. 2. Implementación de incentivos para la entrada de vehículo eléctrico e implementación de su infraestructura asociada, presionando la sustitución de combustibles fósiles. 3. Modificación de programas universitarios y técnicos para la creación de capacidades relacionadas con los nuevos modelos de negocio. 4. Alianzas con entidades I+D+i internacionales (universidades, CDT´s, proveedores de tecnología), para formación de capacitadores locales.	1. Regulación de mercado para los servicios anexos al sector. 2. Promoción de las capacidades profesionales colombianas alrededor de servicios del sector, entre los países latinoamericanos. 3. Creación de alianzas de innovación Universidad-Empresa para el mejoramiento continuo del sector. 4. Desmonte progresivo de los programas de incentivos al vehículo eléctrico debido a su valor comercial e infraestructura de carga rápida (perteneciente al sector privado) competitivos en el mercado.
	Líderes de acciones: MINMINAS – ANDESCO - Gremios del sector energético – Universidades – SENA – CIDET – MINCOMERCIO – MINEDUCACIÓN - CREG		

Componente	Acciones		
	Escenario 2030	**Escenarios 2040**	**Escenario 2050**
Usos de la energía	1. Política de movilidad eléctrica. 2. Desarrollo de infraestructura y tecnologías para movilidad eléctrica.	1. Alianzas con comunidades 2. Alianzas con industriales	1. Alianzas estratégicas 2. Diseño y montaje de infraestructura para movilidad eléctrica urbana y rural
	Líderes de acciones: MINTRANSPORTE – MINMINAS – Industrias – Comunidades – Alcaldías – Gobernaciones – DNP – Universidades – CIDET - Agentes del Sector		

Fuente: Elaboración propia con base en talleres de escenarios (2018)

ANEXO 3. Documentación de soporte del proyecto

A continuación, se lista la documentación generada en el marco del proyecto para la formulación del observatorio de energía sobre la cual se basó la presente publicación. Los documentos pueden ser consultados en su totalidad en la página web de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética RECIEE: www.reciee.com.

1. Informe de vigilancia en tecnologías emergentes y políticas para energía renovables. Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano – GRISEC. Universidad Nacional de Colombia. Elaborado para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Bogotá, abril de 2018.
2. Informe de vigilancia tecnológica en dispositivos para el almacenamiento de energía producida por fuentes de energía renovables no convencionales. Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano – GRISEC. Universidad Nacional de Colombia. Elaborado para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Bogotá, abril de 2018.
3. Informe de vigilancia tecnológica en sistemas de transmisión para la integración de energías renovables al sistema de potencia. Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano – GRISEC. Universidad Nacional de Colombia. Elaborado para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Bogotá, abril de 2018.
4. Informe de vigilancia tecnológica en aprovechamiento de energía solar térmica para usos finales de calentamiento y enfriamiento. Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano – GRISEC. Universidad Nacional de Colombia. Elaborado para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Bogotá, abril de 2018.
5. Informe de vigilancia en tecnologías y programas de fomento para los vehículos eléctricos a nivel mundial. Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano – GRISEC. Universidad Nacional de Colombia. Elaborado para la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Bogotá, abril de 2018.
6. Estudio de Prospectiva: Transición energética para Colombia 2050. Instituto de prospectiva, innovación y gestión del conocimiento. Universidad del Valle. Cali, abril de 2018.
7. Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un Observatorio de Energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050. CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°CV-005-2017. Informe Final, diciembre de 2017.