

ESCENARIOS

ENERGÉTICOS

Seis posibilidades para la transición en Colombia



Santiago Ortega Arango · Enrique Ángel Sanint · Andrés Jaramillo Vélez

PROYECTO 7

Análisis de escenarios y definición de estrategias futuras

Fecha de elaboración del informe

Diciembre de 2019

Todos los derechos de los autores

Santiago Ortega Arango

Enrique Ángel Sanint

Andres Jaramillo Vélez

Instituciones aliadas

Universidad Nacional de Colombia • Universidad EIA

Universidad EAFIT • Universidad Pontificia Bolivariana

ISA-XM • Universidad de Sucre • CECAR • Universidad

de la Guajira • Universidad Francisco de Paula Santander

Edición y coordinación editorial

Querida Editorial

José Ardila

Ana Katalina Carmona

Diseño e ilustración

Sara Arredondo Giraldo

ISBN 978-958-53782-8-5

PROYECTO

Estrategia de transformación del sector energético colombiano en el horizonte de 2030.

Financiado por la convocatoria 778 de Colciencias (Minciencias). Ecosistema Científico Contrato FP44842-210-2018.



Pares internacionales:



Instituciones de Educación Superior aliadas:



Empresas aliadas:



Lideran:



CONTENIDO

	Prólogo	7
	Introducción	13
1	Construcción de escenarios	21
2	Impactos del covid-19: Una pausa necesaria	39
3	Definición de escenarios	47
4	Narrativas de escenarios	53
	Escenario Ajedrez	57
	Escenario Monopolio	69
	Escenario Escaleras y Serpientes	80
	Escenario Jenga	90
5	Escenarios extremos	99
	Escenario Jumanji	107
	Escenario Tetris	111

CONTENIDO

6	Consideraciones finales	115
7	Anexos	123
	Anexo 1: Entrevistas a líderes del sector energético	124
	Anexo 2: Resumen de los escenarios	129
8	Referencias	139
9	Los autores	143
10	Agradecimientos	147

Esta predicción no es tanto una profecía como una forma de analizar nuestras opciones actuales. Si el análisis hace que elijamos de manera distinta, para que la predicción resulte equivocada, tanto mejor. ¿Qué sentido tiene hacer predicciones si estas no pueden cambiar nada?

Yuval Noah Harari, Homo Deus

PRÓLOGO

El consenso científico es contundente: el uso de combustibles fósiles ha creado un nuevo clima. Hay una altísima probabilidad de que las olas de calor y frío extremos, sequías, inundaciones, tornados, huracanes y ciclones bomba que entristecieron al mundo en los últimos años hayan sido causados o exacerbados por el cambio climático. Hemos condenado el planeta a un aumento de 1.5 grados centígrados en su temperatura promedio y si no hacemos lo necesario para reducir las emisiones de efecto invernadero a la mitad para el 2030 y a cero para el 2050 las consecuencias serán trágicas. En el Antropoceno, todos los países, incluso aquellos como Colombia, con emisiones de gases de efecto invernadero muy por debajo de las de otros más desarrollados y ricos, deben descarbonizar su economía.

Se debe empezar por el sector eléctrico, para posibilitar la pronta descarbonización del transporte, que, más allá de sus beneficios climáticos, es inaplazable para reducir la contaminación del aire y acústica que enferma pueblos y ciudades. El reto es enorme y requiere de la construcción apresurada de infraestructura física y digital y de una profunda transformación en la industria, los consumidores y en los marcos institucionales, legales y regulatorios.

Gobierno e industria deben tomar decisiones difíciles, las herramientas para analizar e informar la escogencia de alternativas

PRÓLOGO

se quedan muy cortas ante la maraña de complejidad e incertidumbre que ocultan el camino correcto. La toma de decisiones en el sector eléctrico siempre ha sido ardua. Las razones son muchas. En primer lugar, las inversiones requeridas son cuantiosas, irreversibles y duraderas. Una planta de generación eléctrica es costosa, debe operarse por décadas para recuperar la inversión y no sirve para nada más que para lo que se hizo. Si las circunstancias cambian y la planta ya no es necesaria o resulta mejor reemplazarla por otra, el dinero invertido se pierde.

En segundo lugar, las inversiones en el sector de energía crean dependencias de trayectoria que constriñen la toma de decisiones en el futuro. Si el sector de transporte se decarbonizara con hidrógeno, por ejemplo, la inversión en infraestructura para la generación, transporte, distribución y uso de este energético precluiría o haría extremadamente trabajoso considerar luego una transición al etanol o la movilidad eléctrica. Estas “dependencias de ruta” son difíciles de identificar a priori, pero son ubicuas en la historia tecnológica.

Un tercer factor que hace la toma de decisiones en este sector tan engorrosa tiene que ver con la multiplicidad de alternativas y la certeza de que ninguna es una panacea. Todas las tecnologías para la generación eléctrica tienen algún defecto: o son costosas o están a merced del clima o causan algún indeseable impacto ambiental en alguna etapa de su ciclo de vida. La única que se salva, la única que es al mismo tiempo confiable, segura, económica y ambientalmente amigable son los “negavatios”; es decir, la energía que ahorramos, y solo si el ahorro no causa ningún cambio en las condiciones de bienestar y salubridad humanas.

PRÓLOGO

Un cuarto elemento que contribuye a la dificultad de toma de decisiones en el sector eléctrico es la relevancia de estas, el hecho de que sus consecuencias pueden hacer la diferencia entre la vida y la muerte. Basta pensar que la frugalidad de los edificios del noroeste de los Estados Unidos, que prescindían de equipos de aire acondicionado, se pagó cara en el verano del 2021 cuando las temperaturas subieron a números récord y más de cincuenta personas murieron en hogares que los ventiladores y acondicionadores portátiles no lograban enfriar. La falta de contratos de capacidad de generación y reglas que obligaran a la preparación contra temperaturas invernales extremas ocasionó extensos y prolongados apagones que cobraron la vida de más de 100 personas en Texas, en febrero del 2021.

En un planeta con más y mayores episodios de clima extremo, la accesibilidad, confiabilidad y resiliencia de los servicios de energía se hace imprescindible. La evidencia sobre los nocivos efectos del calor y su papel en episodios cardiovasculares y respiratorios va tornando los equipos de aire acondicionado en un electrodoméstico esencial, incluso en lugares donde la mayor parte del año son innecesarios. Un quinto elemento que dificulta la toma de decisiones es la inevitable incertidumbre sobre tantas variables que determinan la futura conveniencia de uno u otro posible camino a tomar hoy. El precio de los combustibles fósiles, el progreso tecnológico en los equipos para la transformación, suministro y consumo de energía, la trayectoria del cambio climático, la urgencia para evitar contaminantes del aire, suelo y agua y la percepción y aceptación sociales determinarán —en cinco, diez y quince años— la satisfacción o frustración que causará el haber escogido uno u otro camino hoy,

PRÓLOGO

pero son imposibles de predecir. Y las decisiones deben tomarse ahora, porque incluso postergarlas implica, de alguna manera, tomarlas.

¿Cómo enfrentarse a semejante desafío? ¿Cómo tomar decisiones tan difíciles bajo tanta complejidad e incertidumbre? La formulación de proyecciones probabilísticas es un comienzo. Una caracterización de la incertidumbre por medio de un conjunto de escenarios y su probabilidad de ocurrencia ayuda a identificar estrategias robustas, que, si bien pueden no ser óptimas bajo ningún escenario en particular, son aceptables bajo muchos posibles futuros.

Cada escenario especifica los valores que tomarán todas y cada una de esas variables que afectarán en el futuro la evaluación de una decisión que se toma hoy. Por tanto, los escenarios deben cumplir un número de requisitos.

En primer lugar, deben, en conjunto, constituir una partición de lo posible. Sería incorrecto considerar solo dos escenarios en los que el petróleo en el 2025 costaría 40 y 50 dólares el barril, porque esto deja por fuera muchas posibilidades, como, por ejemplo, que el costo sea de USD 30 o de USD 100. Una correcta partición con solo dos escenarios consideraría un precio de menos de USD 50 en el escenario uno y de más de USD 50 en el escenario dos, lo que cubriría todas las posibilidades.

En segundo lugar, los escenarios deben ser internamente coherentes, y especificar valores para las variables, de acuerdo con sus correlaciones. Por ejemplo, la demanda, oferta y el precio de la mercancía

PRÓLOGO

están relacionadas por ineludibles leyes económicas que deben representarse consistentemente en los escenarios.

El tercer requisito es que los escenarios sean interpretables. Si bien es común y deseable en el análisis cuantitativo de modelos de sistemas energéticos caracterizar la incertidumbre con numerosos escenarios que persiguen una representación exhaustiva de lo posible, es importante que, al final, puedan reducirse a un conjunto pequeño que sirva para discutir y analizar los resultados del modelaje. Es aquí donde un previo ejercicio de construcción de narrativas, como el descrito en este libro, cobra gran valor como preámbulo a la formulación de escenarios cuantitativos.

Este texto describe el esfuerzo llevado a cabo por sus autores para recoger el pensar de expertos y líderes del sector y sintetizar visiones, algunas plausibles y otras extremas, del futuro. El resultado es un conjunto de seis narraciones que pintan en detalle el panorama económico, tecnológico y regulatorio con seis posibles desenlaces. Las narraciones son útiles para simplificar en cierta medida tanta complejidad y facilitar una conversación que ayude a escoger qué escenarios cuantitativos considerar, qué alternativas de decisión poner sobre la mesa, qué métricas de desempeño usar. Las imágenes vívidas que suscitan estas descripciones estimulan el pensamiento crítico y la formulación de innumerables preguntas, incluso sobre aspectos que no mencionan. Por ejemplo, ¿cómo son esas seis escenas en las casas de los menos favorecidos, de los pequeños comerciantes? Esas narrativas son también valiosas para repensar la identificación de las incertidumbres, para caracterizar las incertidumbres conocidas

PRÓLOGO

y para preguntarse por las desconocidas. Finalmente, los escenarios son magistralmente bautizados con nombres de juegos de mesa que facilitan la recordación de sus elementos claves y que hacen esta discusión complicada y ardua sobre el futuro un poco más llevadera y asequible para el que se le mida.

Dalia Patino Echeverri, Ph.D.

Gendell Associate Professor of Energy Systems and Public
Policy Nicholas School of the Environment
Duke University
Durham - North Carolina

INTRODUCCIÓN

En el 2017, el Gobierno abrió una convocatoria denominada Colombia Científica, con el propósito de generar redes de conocimiento en varias problemáticas de país: sociedad, salud, energía sostenible, alimentos y bioeconomía. Esta era diferente a convocatorias pasadas, ya que tenía un presupuesto más alto y una mayor ambición en resultados y en articulación institucional. Colombia Científica era financiada por el Banco Mundial y convocada por el Ministerio de Educación, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Ciencias y el ICETEX.

Ante esta oportunidad, surgió Energética 2030, un programa de investigación de cuatro años, que articula 270 investigadores, repartidos en diez proyectos, que cubren temas de demanda, electromovilidad, construcción sostenible, energía solar, eólica y biomasa, mercados, escenarios, microrredes, articulación con el centro nacional de despacho y apropiación social del conocimiento. Este programa es liderado por la Universidad Nacional de Colombia y cuenta con la participación de la Universidad EAFIT, la Universidad EIA, la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad de la Guajira, la Universidad de Sucre, CECAR, la Universidad Francisco de Paula Santander y el Grupo ISA, por medio de ISA-XM e Internexa. También cuenta con el apoyo de once universidades y centros de investigación internacionales

INTRODUCCIÓN

de primer nivel. El objetivo principal es proponer estrategias para la transformación del sector energético colombiano al año 2030, de tal forma que se garantice su confiabilidad y sostenibilidad. Ante esto, surge la pregunta: ¿por qué debe transformarse? Nuestra respuesta es: porque el mundo de la energía está cambiando de forma radical, y el país debe prepararse para ello.

La transición energética

Actualmente, el mundo está en un fuerte proceso de transición energética. Para el público, la tendencia más visible de esta transición energética es la **descarbonización**, que implica incorporar a gran escala fuentes de energía renovables, como la solar y eólica, en un intento por desplazar los combustibles fósiles de la generación de energía y reducir las emisiones de CO₂. Sin embargo, la masificación de la tecnología renovable y de las tecnologías de comunicación están configurando un cambio más profundo, pero al mismo tiempo menos evidente.

Este cambio tiene que ver con la escala de las soluciones energéticas. Con el ánimo de mejorar la logística o la eficiencia, los procesos de generación de energía convencional buscaban tener grandes plantas centralizadas. Sin embargo, la oportunidad de aprovechar los recursos energéticos renovables locales ha hecho que se puedan tener plantas de generación pequeñas, **descentralizadas** y ubicadas de forma distribuida en la red. Esto ayuda a la confiabilidad por redundancia de los sistemas y también a reducir pérdidas de energía por transporte desde grandes distancias.

INTRODUCCIÓN

La descentralización trae un efecto adicional sobre los negocios y sobre las estructuras de propiedad en el sector. Hace unos años, para que alguien se pudiera convertir en un agente del sector eléctrico necesitaba unas decenas de millones de dólares para construir una infraestructura de generación de pequeña escala. Sin embargo, con los precios actuales de los equipos para generar energía solar fotovoltaica y su modularidad, hoy un individuo de clase media tiene los recursos económicos para generar su propia energía y vender los excedentes a la red. Esta **democratización** de la energía cambia una tendencia de por lo menos 150 años en la industria eléctrica, en la que el usuario únicamente consume energía (y paga por todos los servicios de la cadena de valor). Los nuevos usuarios producen y consumen su propia energía eléctrica —son prosumidores—, y si combinan esto con soluciones de movilidad eléctrica, incluso pueden desligarse parcialmente de la economía de los hidrocarburos.

Los nuevos prosumidores no solamente tienen soluciones energéticas, sino que están conectados por medio de soluciones digitales al mundo. Eso quiere decir que, energéticamente, la **digitalización** les permite tomar decisiones en tiempo real, monitorear y conocer sus consumos, convertir la energía que generan en tokens o activos digitales para poder intercambiarlos por dinero o por otros activos. El sector eléctrico siempre ha tratado de disminuir los costos del kilovatio-hora, pero el sector de los datos siempre ha tratado de aumentar el valor de la información. ¿Qué podría pasar cuando estas dos industrias converjan? ¿Qué pasará en el momento en que la información sobre un determinado kilovatio-hora valga más que la misma energía?

INTRODUCCIÓN

Esta convergencia nos lleva a la última tendencia, y es pensar en una **desregulación** del sistema como lo conocemos. La regulación del sistema está pensada para un mundo centralizado, con pocos actores y en un negocio que funciona de una forma como siempre lo ha hecho. Pero la digitalización nos enfrenta a nuevos modelos de negocio, nuevas alternativas de tomas de decisión, nuevos valores y un mayor rol de los usuarios finales. Por poner un ejemplo, la tecnología digital causó fuertísimas disrupciones en el sector transporte con las soluciones de movilidad compartida (tipo Uber), que causaron movilizaciones sociales, impactos en los ingresos de los transportadores y crearon la necesidad de regular reactivamente y sobre la marcha. ¿Vamos a esperar a que nos pase lo mismo en el sector energético? Adicionalmente, el mercado eléctrico siempre se ha basado en la necesidad de igualar la oferta y la demanda de energía a nivel instantáneo, y por eso la regulación busca mercados marginalistas. Pero, en un futuro en el que la energía se pueda almacenar gracias a la ubicuidad de baterías (tanto de gran escala como domésticas), ¿es conveniente seguir con las mismas reglas de mercado que tenemos para el mundo de hoy?

¿Por qué pensar en escenarios?

Ante un panorama de cambios y un futuro incierto, un análisis de escenarios es una herramienta para entender cómo puede cambiar el entorno y a qué posibles condiciones nos enfrentaremos. Partiendo de la base de que es imposible predecir el futuro, los ejercicios de escenarios nos permiten explorar diferentes tendencias de transformación para entender cómo se comportarían algunas de las variables que nos interesaría conocer, de tal forma que podamos diseñar estrategias y tomar mejores decisiones

INTRODUCCIÓN

Basamos este ejercicio de escenarios en uno clásico, según la metodología de Schwartz (1996), que se ha usado extensivamente en el sector eléctrico colombiano. Sin embargo, la magnitud de los cambios posibles nos llevó a considerar una exploración sistemática de escenarios extremos, según una adaptación de la metodología planteada por McCullum (2020). Este autor ha identificado que, al seguir tendencias, la mayoría de los ejercicios de escenarios no consideran eventos fuera de lo común, que también pueden configurar el futuro. Buscamos definir dos escenarios extremos, considerando distintos elementos que los pueden configurar, para llevar nuestro ejercicio de análisis al límite.

Uno de estos elementos fuera de lo común fue la llegada del covid-19. Desarrollamos el ejercicio prospectivo durante el 2019 y la publicación de los resultados estaba programada para el primer semestre del 2020, pero la llegada de la pandemia nos exigió hacer una reflexión profunda sobre los impactos que tendría en los escenarios y aplazar su publicación hasta que tuviéramos una señal más clara sobre el futuro. En este libro presentamos las consideraciones que tuvimos ante la llegada de la pandemia y sus impactos de corto, mediano y largo plazo. En el momento de publicar este documento, el mundo se encuentra en un proceso de recuperación económica; sin embargo, incluimos los efectos de mediano plazo derivados de la pandemia como elementos de análisis a la hora de formular los escenarios.

Presentamos los escenarios en dos modalidades. La primera es una definición de narrativas en la que exploramos los caminos para que un escenario se materialice, considerando hitos y señales que configuren el futuro de manera coherente. La segunda es una

INTRODUCCIÓN

simulación del sector eléctrico, en la que definimos los parámetros numéricos de acuerdo con las narrativas. Este primer tomo recoge el ejercicio de definición de escenarios y la construcción de narrativas. En el transcurso del año 2022, publicaremos un segundo tomo que muestre los resultados de las simulaciones en distintas escalas.

Colombia es un país con una alta dependencia en la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica y su economía está basada en gran medida en la explotación de hidrocarburos. El sector eléctrico ha pasado de ser una colección de sistemas locales que se interconectaron en la década de los años cincuenta, a tener una expansión basada en grandes embalses durante las décadas de los setenta y ochenta, a convertirse en uno de los primeros países del mundo (después del Reino Unido y Chile) en liberalizar su mercado energético y abrirlo a la participación privada, después de los apagones asociados al fenómeno de El Niño de los años 92 y 93. Recientemente, con la Ley 1715 de 2014, Colombia ha abierto la puerta a la entrada de energía renovable de gran escala, a través de beneficios tributarios, y al crecimiento de los prosumidores de energía, gracias a la regulación que permite que vendan sus excedentes a la red.

El panorama a principios del año 2022 se define por la expectativa ante la materialización de los grandes proyectos de energía renovable en La Guajira, por la posibilidad de tener nuevos proyectos de generación y transmisión y por la necesidad de pensar una nueva forma de expansión energética. Por lo demás, el país cuenta con una misión de transformación energética que produjo una serie de recomendaciones para que los sistemas

INTRODUCCIÓN

de energía se centren en los usuarios y se modernice el sector. Adicionalmente, la Ley 2099 de 2021 pretende impulsar el uso de hidrógeno en el país de la misma forma como se impulsaron las energías renovables en 2014. Hoy, Colombia está en el umbral de una posible transformación.

Buscamos que este ejercicio de escenarios hasta 2030 se convierta en una herramienta que permita que todos los agentes puedan tomar decisiones a distintos niveles. Los resultados de estos escenarios podrán ser usados, en primera instancia, por miembros del Gobierno que definan política pública y tomen decisiones de regulación. También pueden ser insumo para consultores y empresas del sector energético a la hora de definir hojas de ruta y tomar decisiones de inversión. Finalmente, nos encantaría que esto pudiera convertirse en algo que inspire a emprendedores a desarrollar nuevos modelos de negocio y, por qué no, en algo que lleve a que los usuarios finales se decidan a tener el control de su energía.

Capítulo 1

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Un escenario es un futuro posible. Un ejercicio de escenarios permite identificar las fuerzas que moldean el futuro de una manera estructurada. Estas fuerzas motrices se conocen como predeterminados e incertidumbres, y su combinación sistemática determina las dinámicas de transformación para simular los diferentes escenarios futuros.

Los predeterminados son sucesos o tendencias que o bien estamos seguros de la dirección que tomarán en los próximos años o bien ya ocurrieron y desencadenarán una serie de consecuencias que son de relativa fácil predicción. Por ejemplo: el crecimiento poblacional, el avance del cambio climático, el progreso tecnológico, el compromiso ambiental de la población, la mayor selectividad de los clientes frente a los bienes y servicios.

Por su parte, las incertidumbres son sucesos o tendencias que no sabemos en qué dirección apuntarán y cuyo resultado puede ser determinante para la conformación de los eventos futuros. Por ejemplo: el partido político en el poder, el estado de la economía, el avance de una determinada tecnología cuando hay varias en competencia, etc. De un ejercicio de escenarios puede esperarse:

- Explorar el futuro de manera organizada y lógica.
- Incluir explícitamente posibilidades que están por fuera de la lógica lineal.
- Evaluar situaciones que puedan llevar a futuros diametralmente opuestos, sin hacer juicios de valor por adelantado, para que ideas de futuro controversiales en la actualidad sean consideradas de manera sistemática.

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

- Realizar una valoración colectiva de la importancia de los temas futuros a considerar.
- Evaluar diferentes iniciativas dentro de los posibles futuros que se puedan presentar.

Lo que no se puede esperar de un ejercicio de escenarios es:

- Pronósticos exactos de lo que va a ocurrir.
- Respuestas puntuales a preguntas del tipo: ¿qué hacer si...?
- Soluciones a problemas específicos.

Decidimos realizar un ejercicio de escenarios hasta el año 2030, para y con los agentes del sector, que considerara de manera explícita las señales macroeconómicas y las expectativas de desarrollo.

Para lograr dicho objetivo, optamos por utilizar una combinación de metodologías. De un lado, aplicamos la propuesta por Schwartz (1996), que consiste en la definición de dos ejes principales, cuya combinación, teniendo en cuenta los extremos de cada eje, lleva a la conformación de cuatro escenarios. Adicionalmente, decidimos estructurar otros dos con el propósito de extremar algunas variables específicas. Conformamos, entonces, un conjunto de seis escenarios.

Escenarios previos

Con el fin de brindar a los agentes del sector que participarían en el ejercicio prospectivo un panorama amplio, un terreno fértil de trabajo, revisamos ejercicios similares realizados dentro y fuera del país. En el contexto internacional, evaluamos documentos

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

elaborados por instituciones reconocidas. E independientemente de lo conservador o disruptivo que sea cada uno de estos escenarios, hay tendencias en todos ellos: un aumento sustancial de la energía solar y eólica y de la eficiencia energética, una reducción significativa del uso del carbón y una señal de penetración (en distintos niveles) de la movilidad eléctrica. Además, esta revisión sugiere que los escenarios deben considerar interconexiones regionales y tecnologías disruptivas como el hidrógeno y el CCS.

El mensaje principal de otros documentos que desarrollan ejercicios de prospectiva para la industria energética a nivel global es que hay que tenerle miedo a escenarios que puedan parecer demasiado conservadores. La velocidad de la transformación puede generar ritmos acelerados de disrupción y terminar, por ejemplo, en un mundo altamente digitalizado dominado por el usuario final o con cambios drásticos en el sector. ¿Qué tal un mundo sin redes eléctricas?

Entonces puede ser necesario ampliar el análisis un poco más allá de las variables clásicas del mercado eléctrico para refinar los ejercicios y considerar convergencias entre industrias y dinámicas socioeconómicas. Asimismo, es conveniente generar escenarios en forma de backcast que indiquen una hoja de ruta para cumplir las metas.

En el contexto nacional, revisamos seis documentos que desarrollan ejercicios de prospectiva para la industria energética en Colombia. En la mayoría de estos ejercicios previos, no hay grandes disrupciones en el sector y el prosumidor de energía es considerado un actor menor. En la misma línea de los escenarios

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

internacionales, todas las proyecciones consideran aumento de la demanda y, al mismo tiempo, aumento de la eficiencia energética. Sin embargo, hay una subestimación sistemática de la penetración de la energía solar y el transporte eléctrico. Las realidades a 2019 superan en algunos casos las proyecciones a 2030. Y a diferencia de los ejercicios internacionales, no hay una señal clara de reducción del uso del carbón.

También hicimos entrevistas a ocho líderes colombianos del sector energético con el ánimo de entender su visión sobre el futuro, que adjuntamos (ver [Anexo 1](#)) al final de este volumen para los lectores que quieran tener algo más de información al respecto.

Oráculos

Un ejercicio de prospectiva se debe atacar con mente abierta. Para esto, es usual utilizar el recurso de los oráculos; es decir, personas especialistas en su campo, con amplia trayectoria, que preparan una charla corta con el objetivo de incidir sobre el statu quo. Intentan de esta forma sacar a los asistentes de sus zonas de confort mental, presentan hechos nuevos, posibilidades a futuro, relaciones novedosas entre variables, de tal manera que, al llevar a cabo los talleres en los que se identifican los elementos constitutivos de los escenarios —predeterminados e incertidumbres—, los participantes estén más dispuestos a considerar que el futuro, particularmente si es distante, no será una prolongación automática de las tendencias que ya se están manifestando. Para los talleres de nuestro ejercicio de escenarios, convocamos los siguientes oráculos:

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

- **Carlos Daniel Ruiz Carrascal PhD**
Profesor Columbia University

Tema: Cambio climático en Colombia.

El doctor Ruiz planteó que el fenómeno del cambio climático puede expresarse en las variables climáticas como un cambio en los valores medios, como un aumento en la variabilidad o como una modificación en la simetría de la distribución de la variable o una combinación de las anteriores. Se estima que las actividades humanas han causado aproximadamente 1,0 °C de aumento en la temperatura media, por encima de los niveles preindustriales. Este aumento puede alcanzar los 1,5 °C entre el año 2030 y el 2052, si continúa la tendencia actual. Diversos modelos climáticos producen resultados diferentes, con una característica en común: todos apuntan a un aumento en la temperatura media con las consecuentes disminuciones en frecuencia e intensidad de periodos fríos y aumentos en ambas variables para periodos cálidos. Las implicaciones políticas son claras, si se tiene en cuenta el peso relativo de la generación de energía en la emisión de CO₂ a nivel nacional.

- **Andrés Jaramillo Vélez MSc**
Profesor Universidad EIA

Tema: Transformación en el sector energético.

El doctor Jaramillo hizo un balance histórico de lo que fue el periodo 2010-2018, con disminuciones en el costo de las energías renovables, el impulso a la electromovilidad y el incremento de mercados P2P. Posteriormente, identificó las principales tendencias a futuro: descarbonización, digitalización, democratización,

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

desintermediación, electrificación y la emergencia de nuevos modelos de negocio. Al final, como resultado de las tendencias actuales, en el mix de fuentes de energía futuras, aumentarán gas y renovables, se mantendrán hidroeléctrica y nuclear y perderán participación petróleo y carbón. Esta realidad presenta algunos retos importantes: regulación adecuada, armonización de los mercados y adaptación de las instituciones.

- **Dalia Patiño Echeverry PhD**

Profesora en Duke University

Tema: Políticas energéticas de EEUU y China.

La doctora Patiño presentó los avances en los Estados Unidos. Mostró cómo las políticas específicas han funcionado para fomentar la penetración de energías renovables y la transformación de los mercados en distintas regiones. Asimismo, hizo un paralelo con la estrategia China de convertirse en una civilización ecológica y las decisiones tomadas en los planes quinquenales para impulsar nuevas industrias enfocadas al desarrollo de tecnologías de generación y electromovilidad.

Ejercicio prospectivo

Para la aplicación de la metodología de Schwartz, definimos como horizonte de trabajo el año 2030 y una pregunta guía para los participantes del ejercicio: ¿Cuáles son las posibles configuraciones futuras del sector energético en términos de canasta energética, arreglo institucional y vocación económica? Los participantes fueron miembros de distintas empresas y agentes del sector energético colombiano y la sociedad civil, presentados en la siguiente tabla:

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Tabla 1 Participantes del ejercicio prospectivo

EMPRESAS	UNIVERSIDADES	INSTITUCIONALIDAD	OTROS
EPM	Universidad EIA	CREG	Blockchain Centre
ISAGEN	Universidad Nacional	COCIER	Low Carbon City
CELSIA	Universidad EAFIT	CIDET	
ISA	UPB	FENOGE	
XM	CECAR	Ruta N	
ECOPETROL	Duke University	Cluster de Energía Sostenible	
Emergente Energía Sostenible	Aarhus University		
ERCO			

Desarrollamos el trabajo con los participantes en cuatro sesiones durante el año 2019. Así:

- Agosto 1: Los oráculos realizaron conferencias que le permitieron a los participantes del ejercicio identificar predeterminados e incertidumbres.
- Agosto 2: Validamos y agrupamos las incertidumbres identificadas en el taller del primer día y elaboramos la matriz de impacto cruzado.
- Septiembre 12: Validamos un primer esquema de estructura y nombre de los escenarios. Definimos algunos parámetros para la simulación de cada uno de ellos.

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

- Octubre 17: Validamos la narración de los escenarios, definimos estrategias.

Predeterminados e incertidumbres

Los participantes identificaron tendencias predeterminadas e incertidumbres por medio de una plataforma digital. Procesamos los predeterminados en el grupo de trabajo.

Los agrupamos para encontrar los temas que aglutinaban la mayor cantidad de opiniones. A partir de ese trabajo, elaboramos la siguiente tabla:

Tabla 2 Predeterminados identificados por los participantes

PREDETERMINADO	PORCENTAJE DE MENCIONES
FNCER: aumento en la participación de las energías renovables dentro del mix energético del país por la disminución de los precios de construcción y operación unida a la necesidad de cumplir con los compromisos internacionales en términos de descarbonización.	17%
Conciencia ambiental: aumento de la presión ciudadana por soluciones energéticas más amigables con el medio ambiente, que se refleja en cambios de consumo, regulatorios, legales, etc.	13%
Electromovilidad: aumento del número y utilización de vehículos eléctricos, tanto para transporte individual como público, y de la infraestructura necesaria para su funcionamiento.	8%

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

PREDETERMINADO	PORCENTAJE DE MENCIONES
<p>Digitalización del sector eléctrico: crecimiento del número e importancia de las transacciones digitales de energía, presencia de medidores inteligentes y automatización en la toma de decisiones de consumo eléctrico.</p>	7%
<p>Cambio climático: aumento de las temperaturas medias del planeta por causa, entre otros factores, de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía, con los efectos colaterales que conlleva en términos de aumento de la variabilidad climática.</p>	7%
<p>Electrificación: conversión progresiva hacia la energía eléctrica de actividades que actualmente usan otras fuentes de energía.</p>	7%
<p>Tecnologías disruptivas: entrada creciente de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), unida a mejores redes, a la digitalización y la electrificación crecientes que hacen posibles las redes y ciudades inteligentes (Smart grids, Smart cities).</p>	6%
<p>Eficiencia energética: logro de una mayor eficiencia en el uso y consumo de la energía en general y de la eléctrica en particular. Esto se manifiesta en una serie de acciones de los usuarios por reducir sus consumos, avances en la tecnología y crecimiento de servicios de monitoreo y control para mejorar la eficiencia, especialmente en la industria.</p>	5%
<p>Crecimiento de la demanda: tendencia que resulta de la combinación de dos fuerzas, el crecimiento poblacional y el aumento del consumo per cápita. El resultado es un lento efecto de mejora en las condiciones económicas promedio.</p>	5%
<p>Participación activa de los consumidores y la demanda: toma de posición de la demanda, que entra a jugar un papel activo, con operaciones tales como la posibilidad de dejar de consumir en un momento dado para lograr el balance energético instantáneo.</p>	5%

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

PREDETERMINADO	PORCENTAJE DE MENCIONES
Cambio en el modelo de mercado: aparición de nuevos modelos de prestación de servicios que lleven a cambios en el planteamiento general del modelo de mercado.	3%
Generación distribuida: crecimiento de generación a pequeña escala, asociada, en general, al aumento de FNCE, e inmersa en redes de distribución que modifican el balance, la confiabilidad y la operabilidad de los sistemas eléctricos.	3%
Almacenamiento: aumento en la disponibilidad y disminución en los precios de soluciones de almacenamiento que brindan la posibilidad de transferir energía eléctrica entre períodos punta y períodos valle a costos competitivos.	3%
Prosumidores: crecimiento de una categoría de agentes que son productores y consumidores simultáneamente, lo que cambia la relación de dependencia frente a la empresa distribuidora y permite la eventual creación de mercados paralelos.	3%
Nuevos agentes: aumento en el número y variedad de agentes en el mercado eléctrico.	2%
Precios horarios: existencia de ofertas y precios de energía hora a hora en el despacho nacional.	1%

Por otro lado, a partir de la información suministrada por los participantes, y con su colaboración, agrupamos también las incertidumbres. Las presentamos en el siguiente cuadro:

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Tabla 3 Incertidumbres identificadas por los participantes

POLÍTICAS	Favorabilidad de las políticas y la regulación a la transición energética.
MERCADO	Mercado similar al actual o radicalmente distinto.
TECNOLOGÍA	Alcance de las tecnologías disruptivas a gran escala.
DER	Nivel de penetración de Recursos Energéticos Distribuidos (DER) y prosumidores.
GEPOLÍTICA	Precios de combustibles fósiles.
CAMBIO CLIMÁTICO	Intensidad del cambio climático en términos de cambio en la temperatura y la precipitación.
SOCIAL	Actitud social frente a la transición energética.
ELECTRIFICACIÓN	Participación de la electricidad en la matriz energética secundaria.
FNCER	Penetración de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) a gran escala.

Es de anotar que algunos temas aparecen tanto en los predeterminados como en las incertidumbres, lo cual en principio es una imposibilidad del método mismo. La existencia de esta aparente paradoja se explica al revisar más cuidadosamente el contenido de cada uno. Por ejemplo, en las incertidumbres aparece el tema del cambio climático, pero la incertidumbre es su intensidad, no la existencia misma del fenómeno que se da por cierta. Algo similar ocurre con el alcance de las tecnologías disruptivas a

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

gran escala, nivel de penetración de las DER y prosumidores, participación de la electricidad en la matriz energética secundaria y penetración de las FNCER a gran escala.

En la configuración de los escenarios, el siguiente paso es la calificación de la matriz de impacto cruzado; es decir, la determinación, por parte de los actores presentes, de cuál es el grado de impacto de cada una de las incertidumbres sobre las demás, con el fin de identificar cuáles son las dos que están más aguas arriba, las que más inciden sobre las demás, que serán los ejes estructurantes de los escenarios. La realización de tal ejercicio con nueve incertidumbres es un asunto muy tedioso, pues es necesario calificar setenta y dos posiciones en la matriz; por tal motivo, analizamos las incertidumbres y determinamos:

- Dado que todos los escenarios serán modelados numéricamente, en todos ellos evaluaremos los efectos del cambio climático. En este sentido, incluimos la incertidumbre del cambio climático en todos los escenarios.
- Agrupamos las FNCER y las tecnologías disruptivas en una misma categoría.

Con estas consideraciones, redujimos el número de incertidumbres a siete.

1. Favorabilidad de las políticas y regulación para la transición energética.
2. Modelo de mercado similar o radicalmente diferente al actual.
3. Participación de FNCER y tecnologías disruptivas en la nueva expansión.
4. Nivel de penetración de DER y prosumidores.

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

5. Precios de los combustibles fósiles.
6. Apropiación social de la transición energética.
7. Participación de la electricidad en la matriz energética secundaria.

Identificación de los ejes principales

Para configurar los ejes principales, identificamos aquellas incertidumbres que tienen incidencia sobre las demás. Para tal efecto, utilizamos la matriz de impacto cruzado en la que se califica el impacto que cada una de las diferentes incertidumbres tiene sobre las otras (Tabla 4). Para calificar la incidencia utilizamos la escala: 0 (nula), 1 (muy baja), 2 (baja), 3 (media), 4 (alta) y 5 (muy alta).

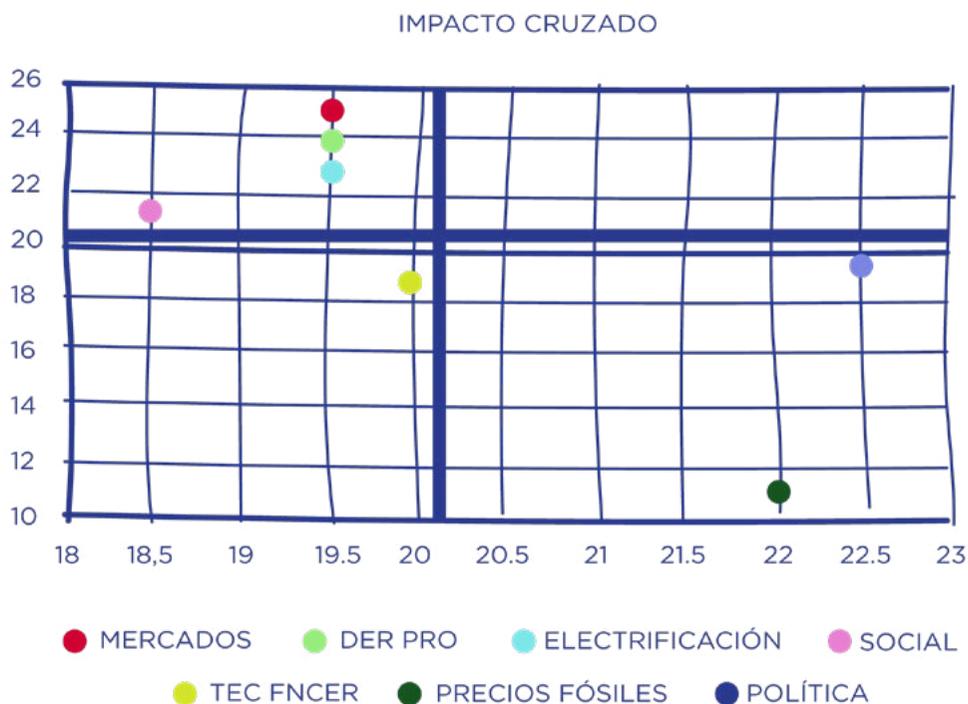
Tabla 4 Matriz de impacto cruzado en las incertidumbres

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	SUMA
POLÍTICAS		4.5	3.5	4	2.5	4	4	22.5
MERCADOS	3		4	4	2	3	3.5	19.5
FNCER	2.5	4		4.5	1.5	3.5	4	20
DER	3.5	4.5	2		1.5	4	4	19.5
FÓSILES	3.5	4.5	3.5	3.5		3	4	22
SOCIAL	4	4	2	4	1		3.5	18.5
ELECTRIFICACIÓN	3	3.5	3.5	4	2	3.5		19.5
SUMA	19.5	25	18.5	24	10.5	21	23	20.2

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Con los resultados obtenidos en la matriz, elaboramos un diagrama con estas características: el eje X es la influencia total que una incertidumbre ejerce sobre las demás y el eje Y, la influencia total que recibe (Figura 1). Se configuran así cuatro cuadrantes.

Figura 1 Diagrama de impacto cruzado en las incertidumbres



Con base en este diagrama, seleccionamos las dos incertidumbres que servirán de ejes de los escenarios: Favorabilidad de las políticas y regulación para la transición energética y precios de los combustibles fósiles. La razón: son las que más influencia ejercen sobre las demás (coordenada X) y las que menos influencia reciben de las otras (coordenada Y), lo que lleva a que sean las más independientes de todas las incertidumbres consideradas.

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

El eje de Favorabilidad de las políticas para la transición energética considera aquellas decisiones de política pública que incidan en la descarbonización, la descentralización, la desregulación, la democratización y la digitalización del sector energético.

La incertidumbre Precio de los combustibles fósiles considera los precios internacionales del petróleo, gas y carbón. Sin embargo, para buscar un eje más representativo, también incluimos el análisis del diferencial que tienen las tecnologías y proyectos basados en el aprovechamiento fósil frente a los precios de las alternativas renovables.

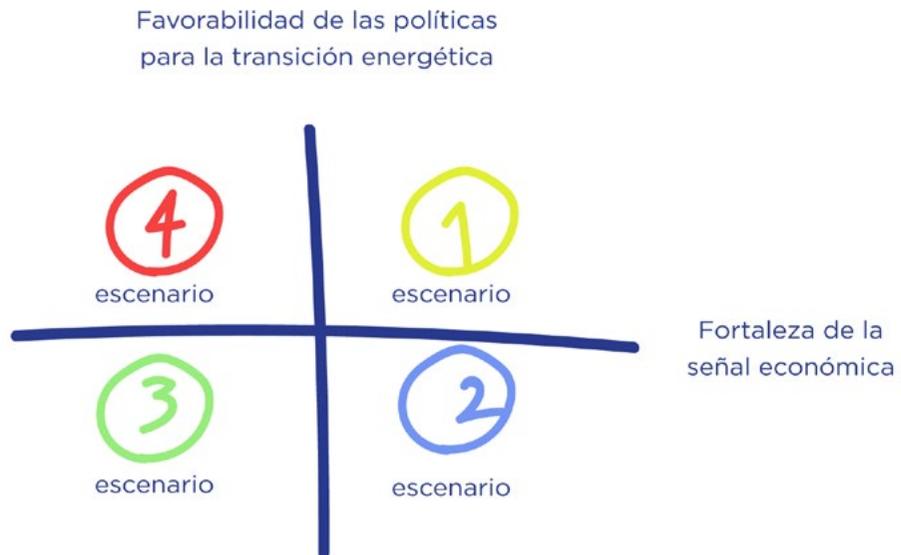
En este sentido, en adelante, la llamaremos Fortaleza de la señal económica. Con precios fósiles altos, Colombia tiene un mejor desempeño económico, lo que fortalece el peso frente al dólar y hace que la tecnología renovable sea más económica y compita mejor en el mercado. Por el contrario, bajos precios de combustible fósil implican que la moneda pierda valor, se encarezcan los proyectos renovables y no haya una señal tan atractiva para la inversión. Construimos las características de cada escenario combinando los extremos de los ejes que lo delimitan.

Por ejemplo, el escenario 1 tiene las características combinadas de una señal económica fuerte y políticas favorables a la transición energética. Hicimos lo mismo con los tres escenarios restantes (Figura 2).

Figura 2 →

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Figura 2 Características de escenarios



Capítulo 2

IMPACTOS DEL COVID- 19: UNA PAUSA NECESARIA

IMPACTOS DEL COVID-19: UNA PAUSA NECESARIA

Desarrollamos el ejercicio de escenarios durante 2019, antes del inicio de la pandemia del covid-19. De manera que nos vimos abocados a la disyuntiva de esperar el desenvolvimiento de la situación, con la expectativa de retomar, en algún momento, una senda de crecimiento similar a la que se traía antes de la pandemia, o rehacer completamente el ejercicio, una vez los sucesos se fueran revelando y mostraran unos futuros posibles incompatibles con los resultados que teníamos al momento.

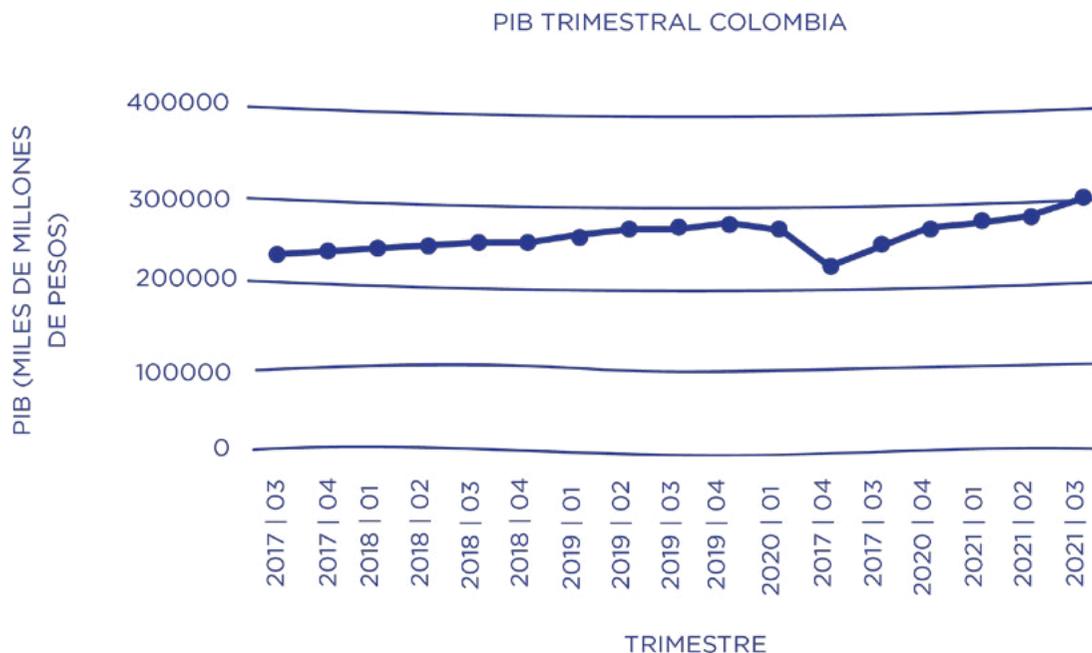
Las tendencias, tanto en predeterminados como incertidumbres, las pensamos en los talleres, junto a los participantes, como realidades de largo plazo. Por tanto, la primera indicación era esperar para dar tiempo a que la pandemia fuera controlada y, una vez en esta situación, evaluar la necesidad o no de repensar todo el ejercicio.

La consecuencia inmediata de la pandemia fue la necesidad del aislamiento social para evitar el crecimiento exponencial de los contagios, lo que llevó a la necesaria disminución en el ritmo de los negocios. En conjunto el PIB del país sufrió un desplome del 6,8% en 2020, la caída más alta desde 1975 (Salazar, 2021). Consecuente con esto, la demanda eléctrica disminuyó aproximadamente un 13,2% entre marzo y abril del 2020 y hubo una disminución anual del orden del 2%, entre los años 2019 y 2020 (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2020).

Como muestra la Figura 3, el PIB se ha venido recuperando, siguiendo un patrón que no fue la optimista forma en “V” que prometieron algunos, pero tampoco la temida recuperación en “L”.

IMPACTOS DEL COVID-19: UNA PAUSA NECESARIA

Figura 3 Recuperación del PIB 2017-2021



Ha habido, hasta donde los datos muestran (tercer trimestre de 2021), una recuperación que apunta a alcanzar la senda que se traía antes del inicio de la pandemia, aunque probablemente de una manera asintótica. Una posible consecuencia de estos asuntos es que las empresas busquen optimizar su operación, lo cual llevará a una recuperación con niveles de empleo más bajos (por aumento de eficiencia operativa) y con inversiones más cautelosas.

La pandemia no afectó a los proyectos ganadores de la subasta de energías renovables de 2019, los cuales están siendo desarrollados. Aún más, en octubre de 2021 una nueva subasta asignó contratos de energía a once proyectos solares, que suman 793 MW de nueva capacidad instalada. En general, la pandemia podría motivar reflexiones profundas sobre cuestiones esenciales de la

vida en sociedad que impacten el desarrollo de la economía; por ejemplo, la posición social frente al cambio climático, la adopción acelerada de la digitalización y los cambios en hábitos de consumo. Estos cambios podrían impulsar políticas públicas que, directa o indirectamente, favorecerían la transición energética. A continuación, exploramos estas tres tendencias.

Riesgo climático

El covid-19 puede entenderse como un llamado de atención a la sociedad global sobre gestión del riesgo. A raíz de lo sucedido con el SARS y el MERS, se había evidenciado la necesidad de tener protocolos agresivos contra el riesgo de las pandemias y una red de colaboración global para atenderlas de forma oportuna.

Sin embargo, estos esfuerzos no fueron suficientes. Para citar unos pocos casos, en EEUU las políticas públicas fueron en sentido contrario a estas alertas. Se recortó el personal del Center For Disease Control y hubo fuertes presiones desde el ejecutivo para disminuir su presupuesto (Borger, 2020). Un afán de utilizar el manejo de la pandemia como plataforma política, que sucedió también en Brasil, llevó a una implementación errática de las acciones de control, lo que desembocó en un alto número de muertes evitables. En contraste, algunos países preparados para el riesgo de una nueva pandemia, como Singapur, Taiwan, Corea del Sur y Hong Kong, fueron capaces de contener la emergencia de forma más efectiva (Barron, 2020).

En ese sentido, la pandemia provocada por el SARS-COV-2 podría entenderse como un llamado de atención sobre la vulnerabilidad

IMPACTOS DEL COVID-19: UNA PAUSA NECESARIA

de la humanidad frente a los riesgos del cambio climático (Figura 4). Estos riesgos tienen un alcance global y son dependientes de la colaboración internacional para poder avanzar en acciones de adaptación y mitigación efectiva.

Figura 4 Covid-19 y cambio climático



Fuente: Kal. The Economist

Por tal razón, el discurso de la descarbonización seguirá vigente y probablemente será fortalecido por el aumento radical en la conciencia ambiental de los ciudadanos. Durante la crisis de la pandemia, hubo una reducción inmensa de emisiones y de los niveles de contaminación del aire y del agua en muchas ciudades del mundo, seguidos en el 2021 por un rebote de las cifras

CONSTRUCCIÓN ESCENARIOS

hasta alcanzar unos valores en línea con la recuperación de las tendencias prepandemia.

Digitalización

Uno de los efectos inmediatos de la cuarentena obligatoria fue el aumento del uso de las tecnologías de comunicación, lo que aceleró cambios radicales en la forma como la sociedad trabaja, estudia y se relaciona. En un análisis para el Financial Times, Yuval Noah Harari (2020) expresaba: *“Muchas medidas de emergencia de corto plazo van a convertirse en parte de la vida cotidiana. Esa es la naturaleza de las emergencias, aceleran procesos históricos. Decisiones, que en tiempos normales tomarían años de deliberación, se aprueban en cuestión de horas”*.

Lo anterior es evidente en la forma como muchas de las empresas migraron al teletrabajo en cuestión de semanas y los colegios y universidades se volcaron casi inmediatamente en canales de educación virtual. En un memorando público, Vodafone afirmó que, en algunos países, se incrementó el uso de datos en un 50%. Asimismo, se masificaron tecnologías de seguimiento de personas para contener y atender la emergencia y, particularmente en Colombia, en menos de un mes se puso en funcionamiento un esquema de asistencia económica para familias vulnerables por medio de bancarización digital.

Gran parte de la transición energética se basa en la digitalización de la energía como un medio para operar más eficientemente las redes, favorecer nuevos mercados entre usuarios, buscar eficiencia energética y crear valor. David Shipworth, de University

College London, explica que el sector energético se enfoca en reducir costos mientras que el sector de los datos busca crear valor. Una convergencia de ambos sectores podría generar muchísimo valor en los datos relacionados con energía y abonar el terreno para el desarrollo de modelos de negocio disruptivos.

Aunque todavía no es muy claro cuáles serán los efectos de mediano o largo plazo, no hay duda de que el impulso a la digitalización terminará impactando de forma significativa el sector energético.

Hábitos de consumo

La situación económica durante la pandemia motivó un giro de preferencias de consumo hacia una economía de bienes esenciales y hacia una mirada más estoica de la vida apoyada en la tecnología. Asimismo, los sectores más vulnerables de la población se vieron fuertemente afectados; muchos de ellos cayeron en economías de subsistencia.

Ante la necesidad de recuperar la competitividad económica en el corto plazo, la Agencia Internacional de la Energía (2020) propuso que los gobiernos buscaran una recuperación económica por medio de empleos verdes y estrategias de eficiencia energética para favorecer recambio de electrodomésticos y vehículos¹. Además, hizo énfasis en actualizar y mejorar las redes de energía para atender la llegada de los recursos solar y eólico y en la importancia de avanzar en el desarrollo de tecnologías como baterías de hidrógeno. En esta línea, China ha enfocado sus paquetes de recuperación pospandemia hacia inversiones ligadas

IMPACTOS DEL COVID-19: UNA PAUSA NECESARIA

a la transición energética, como redes 5G, proyectos ferroviarios, líneas de transmisión de ultra alto voltaje (UHV), y estaciones de recarga de vehículos eléctricos, y el Congreso de los EEUU aún debate el ambicioso programa de recuperación económica propuesto por el Presidente Biden, en el que las inversiones en transición energética son un punto focal.

Este cambio en hábitos de consumo, sumado al aumento de digitalización, y de la necesidad de descarbonización, podrían modificar las formas como consumimos energía, aumentar la demanda eléctrica en el mediano plazo y reducir progresivamente el consumo de combustibles fósiles. En las narrativas de los escenarios del próximo capítulo, el covid es un elemento que impacta la señal económica global, cambia las tendencias de recuperación de los precios internacionales del petróleo y crea tensiones geopolíticas que afectan en el corto plazo las políticas climáticas.

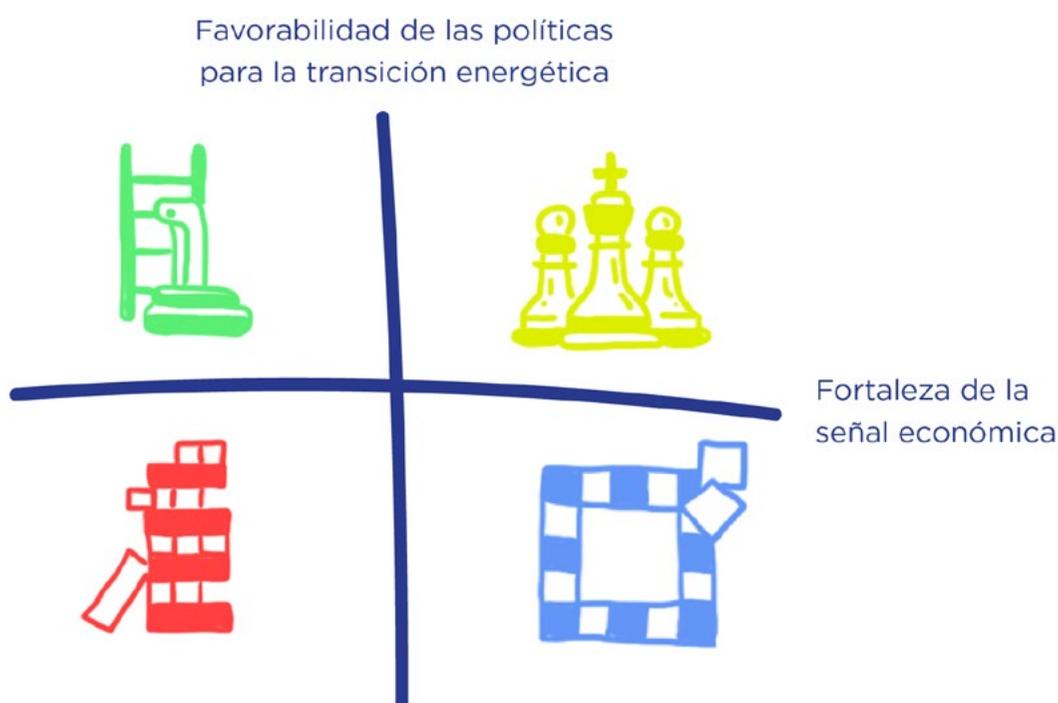
Capítulo 3

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Tomando las incertidumbres críticas identificadas en los talleres, Fortaleza de la señal económica y la Favorabilidad de las políticas para la transición energética, y considerando las reflexiones suscitadas por la pandemia, generamos cuatro escenarios energéticos a 2030 (Figura 5). Estos escenarios toman nombres de juegos de mesa a modo de metáfora, con el fin de hacerlos fácilmente identificables a partir de sus condiciones características. Los describimos a continuación.

Figura 5 Escenarios energéticos



Escenario Jenga

En este futuro, los precios bajos de los combustibles fósiles no favorecen el uso de las energías renovables, debido a que no hay un diferencial de precio muy atractivo para hacer inversiones.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Tampoco hay políticas globales o nacionales que impulsen una transformación del sector. Es una continuación del *status quo* con mínima transformación del sistema energético y de sus estructuras de mercado. Todavía se contemplan el uso de combustibles fósiles en las expansiones de capacidad, lo que agrava los problemas de cambio climático y retrasa la acción global en este tema. Este escenario es parecido al juego de Jenga (apilamiento de bloques de madera), porque perpetúa una acción insostenible en el tiempo y únicamente aplaza el colapso de la torre.

Escenario Monopolio

Este escenario configura una fuerte señal económica pero no contempla políticas gubernamentales que apoyen el desarrollo de negocios disruptivos que faciliten la transición energética. Aquí, la transformación se concentra en las grandes empresas, que empiezan a hacer fuertes inversiones en tecnologías de generación y almacenamiento a gran escala. Sin embargo, la ausencia de políticas limita la participación de los prosumidores de energía y de los usuarios como agentes activos del sistema. Se asemeja al juego de Monopolio porque el poder está concentrado en los grandes jugadores. Debido a las condiciones favorables de precio, florecen pequeñas industrias que instalan de forma masiva tecnologías de energía distribuida, lo que podría generar choques con las empresas tradicionales prestadoras de servicios de distribución, ya que no hay reglamentación e involucramiento de dichas compañías. Asimismo, se crean mercados informales entre usuarios que tienen capacidad de generar y transar su propia energía, lo cual, posiblemente, crea conflictos sociales y jurídicos.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Escenario Ajedrez

La señal económica combinada con la favorabilidad política puede generar disrupciones aceleradas, nuevos negocios, amplia participación de los prosumidores y nuevos mercados de energía y datos. Esto puede precipitar grandísimas reflexiones y cambios abruptos en el mercado y la forma tradicional de hacer negocios en el sector. Podríamos ver cambios de paradigmas históricos y nuevas definiciones del concepto de confiabilidad. Este escenario prevé una participación masiva de los usuarios, que se convertirían en agentes del mercado con capacidad de modificar fuertemente el status quo. Lo bautizamos Ajedrez por la necesidad de contar con una estrategia para afrontar los cambios y por la posibilidad de tener que hacer grandes sacrificios por un objetivo superior. En este escenario, las compañías tradicionales que prestan servicios de distribución, comercialización y generación podrían reinventarse y realizar una transición hacia un mercado de servicios digitales de energía. Plantea además la oportunidad para la convergencia entre industrias, lo cual permitiría desarrollar negocios conexos a la energía en la banca, los seguros, la movilidad, la construcción sostenible, entre otras posibilidades.

Escenario Escaleras y Serpientes

En este escenario hay una política pública proactiva para impulsar una transición energética, pero no hay una señal económica que permita que las oportunidades se desarrollen oportunamente. Es una transformación mucho más lenta que la que llegaría con el escenario Ajedrez, donde los negocios disruptivos tienen menos potencia de transformación, pero las reglas del juego están claras para los innovadores. En este escenario, hay

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

un fuerte discurso ambiental desde las compañías y gobiernos, pero que no siempre se materializa. Se asemeja al juego Escaleras y Serpientes porque hay elementos que promueven (escaleras) pero señales que retrasan (serpientes). Aunque hay un deseo de permitir la transición energética, la señal económica de las tecnologías convencionales disuade a los inversionistas. En cualquier caso, es un mundo peligroso porque, al igual que en el Jenga, dilatar las decisiones con argumentos económicos traería serios impactos futuros ante escenarios de cambio climático.

Algunas consideraciones necesarias

En cada uno de estos escenarios consideramos distintos niveles de penetración de energías renovables, prosumidores de energía, baterías, electromovilidad, nuevos mercados y digitalización. Lo que nos interesa dentro de Energética 2030 es poder acoplar estas narrativas a modelos de simulación dinámica que permitan entender cuáles serían los efectos en el mercado eléctrico colombiano y evaluarlos en términos de sostenibilidad, precios para los consumidores y seguridad de suministro.

Estas evaluaciones tienen además el propósito de servir como elementos de apoyo técnico a las decisiones de política pública y regulación. Vale la pena notar que los escenarios tienen varias señales comunes, recopiladas a partir del listado de elementos predeterminados, así como un análisis de transformación de las señales actuales por parte de los investigadores:

- El gobierno nacional proveerá medidores inteligentes para la mayoría de los usuarios, de acuerdo con las metas de despliegue de estas tecnologías.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

- La producción de petróleo y el interés por la exploración de nuevos pozos de gas en el Caribe y en los yacimientos de gas de esquisto se mantendrán en el país, debido a su importancia para la economía nacional.
- El sector seguirá teniendo una fuerte expansión en pequeñas centrales hidroeléctricas, gracias al inmenso potencial en el país, las capacidades profesionales para desarrollarlas y la bancabilidad de los proyectos.
- La electrificación del transporte público estará presente en todos los escenarios, de acuerdo con las tendencias actuales de penetración y recambio tecnológico.
- Todos los proyectos de energía renovable no convencional que ganaron las subastas de confiabilidad y de contratos de largo plazo se construirán y entrarán a operar.
- El proyecto Hidroituango, el cual aportará el 17% de la energía del país, operará completamente entre los años 2023 y 2025.

No incluimos tecnologías disruptivas como hidrógeno y CCS debido a que no alcanzarán a ser una realidad comercial para el país en 2030. En ningún escenario consideramos la entrada de energía nuclear, porque no hay una señal de precios internacionales que la promueva.

Capítulo 4

NARRATIVAS DE ESCENARIOS

NARRATIVAS DE ESCENARIOS

Más que ser una bola de cristal, las narrativas buscan explorar los eventos e hitos que configuran un escenario y crear una línea de tiempo coherente, con una evolución verosímil, a partir de dichos eventos. Estas narrativas están divididas en tres momentos: 2022, 2026 y 2030; es decir, consideran un estado inicial, uno intermedio y uno de finalización en el periodo de análisis.

Guía de color de escenarios

1	AJEDREZ
2	MONOPOLIO
3	ESCALERAS Y SERPIENTES
4	JENGA



Escenario 1

AJEDREZ

2022

La llegada de Joe Biden a la presidencia de los Estados Unidos representó un cambio abrupto en la política climática internacional, que estaba vulnerada por las decisiones del gobierno de Donald Trump. Una de las primeras acciones ejecutivas del gobierno Biden fue volver al acuerdo de París, recuperar la fortaleza de las instituciones ambientales en Estados Unidos y frenar las iniciativas que promovían el uso de combustibles fósiles. Asimismo, dentro del paquete de recuperación postcovid, se incluyeron unos estímulos fuertísimos en infraestructura, como trenes eléctricos y modernización de la infraestructura eléctrica, para promover la llegada de las renovables.

Ante la ausencia diplomática de los Estados Unidos entre 2016 y 2020, el gobierno chino ganó relevancia en muchos organismos multilaterales, con lo cual consolidó un liderazgo en temas climáticos. Estados Unidos empezó a promover una avanzada diplomática que buscaba recuperar el protagonismo climático de la Era Obama.

Después de meses de conversaciones y acercamientos entre los gobiernos, en 2022, Estados Unidos y China lanzan un nuevo y ambicioso acuerdo bilateral de reducción de emisiones y de inversión en transición energética. Esto se convierte en un hito fundamental para reactivar el mercado de emisiones a nivel global, la investigación y el desarrollo en energías renovables. Ante estas señales, la banca alrededor del mundo aumenta su financiación de proyectos de energía renovable y eficiencia energética y reduce significativamente sus inversiones en petróleo y gas natural. Además, los fondos de capital de riesgo en San

Francisco, Shanghai y Berlín multiplican sus inversiones en *start-ups* de energía.

En el mundo, la recuperación económica poscovid empieza a demandar bienes y servicios, lo cual aumenta la demanda internacional de petróleo. Este aumento de la demanda se superpone a la señal de disminución en la inversión de exploración y explotación de nuevos pozos de petróleo y gas, lo que lleva a precios altos hasta el 2030.

Fiel a su historia de progresismo climático, el gobierno colombiano adopta políticas climáticas ambiciosas y empieza una fuerte gestión internacional para apalancar recursos del Green Climate Fund. Este es un entorno positivo para la innovación en los grandes incumbentes de energía, que aprovechan para desarrollar nuevos productos y servicios, competir de forma agresiva en negocios disruptivos y expandir sus inversiones en tecnologías de la cuarta revolución industrial, a través de fondos de capital.

Se establece un mercado de emisiones de orden nacional, acoplado inicialmente al mercado de energía eléctrica, que sirve para apalancar al sector. Colombia y sus socios del bloque de negociación climática (Costa Rica, Chile, Perú, Guatemala, República Dominicana y Panamá) empiezan las conversaciones para tener un mercado de emisiones entre ellos y un fondo común de adaptación al cambio climático enfocado en la reforestación y el transporte eléctrico. Colombia y estos países desarrollan hojas de ruta para incorporar el hidrógeno como energético. A nivel nacional, la presión ambiental y las decisiones de política

climática hacen que el *fracking* se prohíba en el país. Esta señal, sumada al aumento de la demanda de gas natural, impulsa los proyectos de exploración de gas *offshore* en la cuenca Caribe.

En el 2023 empieza la operación de los proyectos eólicos que ganaron la subasta de energía de 2019, y se avanza en el desarrollo y construcción de los proyectos de la subasta de 2022. En este punto, la tecnología ha bajado tanto de precio, que hay un número de proyectos renovables de gran escala que entran al sistema sin necesidad de mecanismos de subasta, únicamente por poder de mercado. Muchos de ellos vienen acoplados con bancos de baterías que les permiten mejorar sus capacidades de competencia. Asimismo, se han instalado tres baterías de gran escala para mejorar la transmisión y distribución en varias regiones del país. Esto supone cierto alivio para el sistema, ya que los problemas ambientales y sociales retrasan de forma significativa algunos proyectos de líneas de transmisión nacional y regional. En el país, se empieza a explorar el uso de tecnologías novedosas de transmisión de energía.

No hay nuevas inversiones en grandes proyectos hidroeléctricos ni térmicos de gran escala. Algunos generadores tradicionales promueven una campaña para exigir que los proyectos de energía renovable sean incluidos en la participación del cargo por confiabilidad, lo cual genera un fuerte debate en el sector. Los nuevos agentes renovables argumentan que, si bien no contribuyen con energía firme, la energía media que generan con costos menores también mejora la confiabilidad y la complementariedad del recurso durante épocas de sequía. El cargo por confiabilidad es entonces modificado parcialmente para incluir un cargo

por sostenibilidad que genera señales de largo plazo para los proyectos renovables.

Los vehículos eléctricos y las baterías reducen su precio en forma sostenida. Esto, sumado a los altos precios y a impuestos ambientales al uso de la gasolina, genera un incremento importante en las ventas de vehículos particulares eléctricos e híbridos. Paralelamente, las empresas de energía y las ciudades empiezan a hacer fuertes inversiones en infraestructura de carga pública para incentivar la adopción de la electromovilidad, y los nuevos usuarios instalan puntos de carga privada en sus garajes. Pero es en el transporte público donde realmente se ve la aceleración de una adopción temprana que será masiva al final de la década. Después del éxito de los sistemas de Bogotá, Medellín y Cali, la tendencia de recambio de flotas de transporte público por vehículos eléctricos se expande a otras ciudades principales, como Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Ibagué, Pasto, Pereira y Montería.

La entrada creciente de los prosumidores exige cambios en la normatividad. La regulación había establecido unos límites a la capacidad instalada de autogeneración en los circuitos, pero los ritmos de adopción hacen que dichos límites se alcancen en el corto plazo y la alta demanda de solicitudes crea problemas con los distribuidores. La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) decide entonces ampliar los límites de capacidad y facilitar la conexión de prosumidores para evitar desconexiones de usuarios, las cuales ya son financieramente viables debido a los decrecientes costos de las baterías. Entendiendo el panorama futuro, el Ministerio de Minas y Energía decide acelerar el

despliegue de medidores inteligentes: exige cuotas de recambio a los distribuidores, con la idea de buscar que, para el año 2025, la mayoría de los medidores del país se cambien.

Asimismo, Ministerio y CREG empiezan a diseñar una estrategia de innovación para el sector y se adopta una filosofía regulatoria más flexible para impulsar los nuevos negocios y evitar riesgos asociados a disrupciones tecnológicas.

2026

En el 2026, el sector inicia una transformación drástica para estar centrado en el usuario, apoyado en una estrategia de areneras regulatorias² que le permite plantear las reglas de juego de forma eficiente para los nuevos modelos de negocio creados por los distintos agentes. Aprovechando esto, los comercializadores empiezan a dar valor agregado a sus clientes a través de un servicio personalizado con datos que incluye tarifas dinámicas por bloques horarios, agregación de demanda y gestión de consumos para incentivar ahorros.

Anticipando una nueva realidad del sector, el Ministerio de Minas y Energía se embarca en un estudio para hacer un rediseño institucional. Busca evaluar la pertinencia de las instituciones existentes, redefinir los roles, objetivos y alcances de estas y desarrollar protocolos de coordinación entre las mismas. Asimismo, explora posibles estrategias de coordinación con instituciones de otros sectores (transporte, finanzas, TIC) en los que se evidencia convergencia entre las industrias. Usando tecnología de registros descentralizados (como *blockchain*), se pueden transar los atributos específicos de la energía (fuente,

localización, propietario), lo que posibilita que los consumidores adquieran energía con valor agregado. Gracias a este mercado de atributos, es posible que compradores interesados en la energía proveniente de comunidades en antiguas zonas de conflicto y en la Colombia rural generen ingresos adicionales para las mismas.

Por su parte, los comercializadores de energía, aliados con los usuarios, empiezan a tener generación distribuida en techos y fachadas particulares, lo que habilita negocios de copropiedad de energía entre ciudadanos particulares y empresas de energía. Lo anterior permite que las empresas que antes buscaban únicamente eficiencia energética entren fuertemente en la respuesta de la demanda. Además de las inversiones en eficiencia y en auto-generación, los grandes consumidores industriales invierten en digitalización y microrredes en sus plantas, y la inversión en baterías les permite entrar con mucha más fuerza al negocio de la demanda desconectable voluntaria.

Esta masificación, sumada a la agregación de demanda de los usuarios no regulados, le da al operador nacional una herramienta más para aumentar la flexibilidad necesaria para atender las intermitencias de las renovables y los efectos del fenómeno de El Niño. Las plantas térmicas cada vez se despachan menos, e inicia una fuerte discusión sobre el aporte de confiabilidad de las mismas. El boom de nuevos negocios en el sector eléctrico logra atraer nuevos jugadores que vienen de otras industrias, como los bancos, las aseguradoras, los fondos de pensión y los fabricantes de vehículos. Esta convergencia rompe barreras financieras existentes en la adopción de Recursos Energéticos Distribuidos (DER, por sus siglas en inglés) y electromovilidad y

genera una fuerte tendencia de inversión en capital de riesgo enfocada en financiar startups de servicios digitales de energía, acciones de reducción de emisiones y modelos de vida sostenibles. Como consecuencia, hay nuevas señales económicas para la movilidad eléctrica y sostenible y se ven cambios de tendencia en la movilidad urbana.

La posibilidad de rentar vehículos eléctricos por cortos periodos de tiempo, que al principio de la década era un negocio marginal, se convierte en norma impulsada por las restricciones de calidad de aire en las ciudades. Medellín prueba un modelo exitoso de Zonas Urbanas de Aire Protegido (ZUAP), con peajes en la entrada, cargos por congestión, peatonalización y movilidad pública eléctrica que es crucial para recuperar el valor del suelo en el centro de la ciudad. Como ocurrió con el pico y placa en la primera década del siglo XXI, el modelo ZUAP es adoptado de forma acelerada por las ciudades principales de Colombia. Paralelamente, mediante financiación de fondos climáticos internacionales, el país inicia una estrategia muy agresiva de transporte público masivo eléctrico y renovación urbana en las principales ciudades, con proyectos de metro, y en ciudades intermedias, con buses y tranvías eléctricos.

Uno de los hitos más importantes de este periodo es lograr la meta de electrificación total de las zonas no interconectadas de Colombia, que han acabado su dependencia del diésel gracias a soluciones solares con baterías. Además de las soluciones individuales, las ciudades capitales de la Amazonía y Orinoquía, antes Zonas no Interconectadas (ZNIS), logran generar la totalidad de su energía con fuentes renovables y operan baterías y

microrredes. Paralelamente, se establecen microrredes urbanas en las ciudades conectadas a la red.

Tras varios años de debate sobre el *fracking* y sus efectos, en un escenario con altos precios de petróleo y un fuerte movimiento social de oposición, el gobierno decide prohibir la extracción con esta técnica. Con esta puerta cerrada, las empresas petroleras y otras energéticas migran sus esfuerzos de investigación y desarrollo a otras tecnologías, apoyándose en proyectos pilotos existentes de biocombustibles, biorrefinerías e hidrógeno.

2030

En el 2030, Colombia es un país energéticamente muy distinto a lo que era en el 2020. Los cambios en el sector llevan a una reforma institucional en la que se redefine confiabilidad y se crean mercados de respuesta de la demanda, P2P y flexibilidad. Esto facilita la comunicación entre mercado mayorista y minorista de energía, que opera principalmente a través de microrredes. La energía deja de entenderse como un servicio público obligatorio y garantizado por el estado debido a la abundancia de DER y las diferentes opciones de abastecimiento.

Las nuevas tecnologías solares son más baratas, eficientes y livianas, lo que lleva a que los techos solares sean algo absolutamente cotidiano. Todas las edificaciones nuevas tienen energía solar y la curva del pato³ se convierte en una situación usual de la demanda del sistema. Sin embargo, esta se atiende sin problema gracias a los grandes embalses (que se convierten en instrumentos de flexibilidad y confiabilidad) y las baterías (que son prácticamente ubicuas en la red y las microrredes). Las

microrredes urbanas se vuelven tan grandes, que las compañías de distribución operan como centros de despacho regional y se coordinan con el despacho nacional.

Todos los nuevos equipos de consumo eléctrico (electrodomésticos, bombas de calor, vehículos) están integrados a la red y su capacidad de respuesta es usada para la integración de renovables y para la creación de ahorros en los usuarios finales. Aplicaciones domésticas de inteligencia artificial toman decisiones energéticas por los usuarios y monetizan sus datos de energía, en la mayoría de los casos sin supervisión. Las *startups* de la mitad de la década se expanden al mercado latinoamericano. La cotidianidad de la energía acerca nuevas tecnologías a los usuarios finales, como las picocentrales hidroeléctricas, los gasificadores y los reactores de biomasa. Estas tecnologías se aplican principalmente en zonas rurales para diversificar negocios y promover la economía circular en la agroindustria.

El sector térmico tiene una reconfiguración fuerte. Las plantas térmicas de carbón se reemplazan por campos de baterías para atender restricciones de red, mientras que las plantas de gas, que aún tienen ingresos del cargo por confiabilidad, empiezan a transformar su negocio, acoplándose a distritos térmicos, que empiezan a vender calor para promover la eficiencia energética. La nueva realidad es un sector eléctrico que se atiende por una gran cantidad de renovables (solar, eólica, hidráulica), con grandes embalses que funcionan como instrumentos de flexibilidad y confiabilidad y algunas térmicas a gas de ciclo combinado que siguen funcionando como un respaldo del sistema. Si bien la necesidad de transmisión se reduce paulatinamente, todavía

es necesaria para garantizar la confiabilidad del sistema y la atención al crecimiento de la demanda de energía.

Todo el transporte público del país es eléctrico, así como una proporción creciente de los vehículos particulares. Un porcentaje importante de la población no tiene vehículos propios, sino que usa movilidad como servicio.

El crecimiento económico positivo del sector energético y los desastres acumulados de cambio climático consolidan la continuidad de fuertes políticas ambientales tanto en Colombia como a nivel internacional. Estas políticas se enfocan en aumentar la ambición de las metas de reforestación, y en reemplazar la energía fósil del transporte y las industrias por medio del hidrógeno.

Con energía eléctrica abundante y barata, el foco de discusión sobre el futuro del uso sostenible de los recursos naturales migra al recurso agua, cuya disponibilidad se ve amenazada por los efectos del cambio climático.



Escenario 2

MONOPOLIO

2022

A pesar de los inmensos esfuerzos de la administración Biden durante el 2021 para recuperar el liderazgo internacional de los Estados Unidos en temas climáticos, la pandemia del covid-19 estuvo en la primera plana de la política internacional, y la mayoría de los países estaban concentrados en sus estrategias de respuesta y vacunación. Adicionalmente, las fricciones que escalaron entre Estados Unidos y China durante el Gobierno Trump no pudieron limarse totalmente, debido a que China había ocupado posiciones de poder diplomáticas que Estados Unidos buscaba recuperar. Esto evita que se pueda repetir una acción conjunta climática entre ambos países (como pasó durante el Gobierno Obama) que impulse al resto del mundo a tomar acción. Si bien tanto Estados Unidos como China muestran metas de reducción ambiciosas, la falta de cooperación evita una acción global de mayor alcance.

A medida que la vacunación avanza en los países industrializados y luego en los países en vía de desarrollo, los gobiernos del mundo empiezan a hacer gasto público de gran escala para recuperar la economía de forma prioritaria. Esto genera una demanda de petróleo creciente, escalonada y sostenida, lo que motiva a Rusia y Arabia Saudita a desarrollar una estrategia de restricción parcial de la oferta que garantiza precios altos durante la primera mitad de la década.

Los precios altos del petróleo crean una bonanza económica en Colombia, similar a la del periodo 2006-2014, y desde el alto gobierno se aumenta la exploración y explotación de hidrocarburos. La exploración de reservas de gas en la cuenca Caribe recibe

fuertes inversiones internacionales. Todo esto es una señal suficiente para que se impulse el fracking, a pesar de la oposición de todos los sectores ambientales. La principal motivación del Gobierno es aprovechar lo que considera la última bonanza de combustible fósil para crecer la economía nacional. Por esta razón, evitan restringir el uso de los combustibles fósiles y enfocan los esfuerzos de reducción de emisiones en descarbonizar el sector eléctrico y en la reforestación.

Con un peso colombiano más fuerte, el dólar baja y las tecnologías renovables se vuelven más asequibles en Colombia. El gobierno colombiano centra su estrategia ambiental en el aumento de las renovables de la canasta energética garantizado en las subastas de largo plazo. Sin embargo, no tiene motivaciones para fomentar grandes disrupciones en el sector enfocadas al usuario final y en términos regulatorios se mantiene un *status quo*. Los únicos nuevos jugadores son multinacionales que llegan a competir con los incumbentes nacionales, principalmente en generación de energía.

Los bajos costos y la capacidad de inversión impulsan el desarrollo de proyectos de energía renovable de gran escala conectados al sistema sin necesidad de mecanismos de subastas. Muchos de los nuevos proyectos entran con baterías para mejorar la competitividad, y en la transmisión y subtransmisión se instalan baterías para atender restricciones.

Ante este escenario, la inversión en grandes proyectos hidroeléctricos deja de ser atractiva por los costos sociales y por la percepción pública de las dificultades y riesgos para su realización. La

expansión se concentra en energía solar en la Costa Caribe, los Llanos Orientales y los valles interandinos. Por su parte, el desarrollo eólico *offshore* se explora al norte de la Guajira, por sus condiciones favorables en términos oceanográficos y porque la gestión ambiental es mucho menos demandante que en tierra, donde las consultas previas con las comunidades indígenas demuestran ser un reto para los proyectos.

Los generadores presionan para expandir las redes de transmisión de tal forma que se puedan desarrollar más proyectos de generación. Por su parte, las compañías de transmisión empiezan a explorar seriamente tecnología innovadora para aumentar la capacidad de las redes existentes. La demanda también tiene señales importantes de transformación. El precio alto de los fósiles y la popularización de la energía solar, llevan a los empresarios colombianos a fortalecer sus iniciativas de eficiencia energética y a buscar alternativas energéticas renovables. Esto viene acompañado de nuevos modelos de financiación por parte de los bancos y las compañías de energía, lo que da como resultado un importante aumento de autogeneración distribuida en los sectores industriales y comerciales. Asimismo, los prosumidores residenciales de estratos altos se multiplican.

A pesar de que no hay políticas gubernamentales de movilidad sostenible a nivel local, la reducción de precios de los vehículos eléctricos impulsa una adopción creciente entre los particulares. Ante la expectativa de mayor producción de gas natural a partir del *fracking*, el Gobierno promueve el uso de este combustible para la movilidad masiva. Sin embargo, la señal de costos es tan importante que muchas empresas toman la decisión de electrificar sus

flotas de logística de carga obedeciendo netamente a temas económicos. Además, varios municipios, de la mano de las empresas de energía, empiezan a electrificar el transporte público. En temas de vehículos particulares, la adopción se evidencia principalmente en ciudadanos con alto nivel adquisitivo. Esto se complementa con los modelos de alquiler temporal de vehículos eléctricos.

2026

Un estudio del Panel Intergubernamental del Cambio Climático publicado en 2025 demostró que los avances en reducción de emisiones de la primera mitad de la década no eran lo suficientemente grandes para mantener la temperatura por debajo de 1.5 °C, lo que generó un fuerte debate internacional para aumentar la acción climática conjunta.

El gobierno chino, apoyado en su fortaleza tecnológica en generación, almacenamiento y electromovilidad, trata de liderar la acción conjunta internacional. En principio hay esperanza por la apertura del gobierno del presidente Biden en trabajar conjuntamente; sin embargo, las elecciones norteamericanas esfuman pronto el optimismo internacional. La Casa Blanca es ocupada por un presidente republicano que hace campaña con un discurso nacionalista en el que se muestra la potencia económica de China como una amenaza a la hegemonía internacional de los Estados Unidos. Este discurso eclipsa los logros del plan de recuperación verde de Joe Biden, y lo considera como un presidente “débil frente al comunismo asiático” e “incapaz de defender el liderazgo de América”. Naturalmente, esta línea ideológica evita un nuevo acuerdo internacional más ambicioso

de reducción de emisiones, lo cual mantiene una demanda constante de petróleo hasta 2030.

Colombia está en ruta de cumplir cómodamente sus compromisos del Acuerdo de París por el aumento de las energías renovables, las tendencias hacia la electrificación del transporte y una agresiva campaña de reforestación. Esto le da capacidad de maniobra para desarrollar a fondo los proyectos de *fracking* y de explotación de gas offshore con miras a aumentar sus exportaciones y sus ingresos. La mayor parte de la atención regulatoria y de política pública de las instituciones del sector minero-energético se concentra en el aprovechamiento de los recursos fósiles no convencionales.

Tras varios años de bonanza económica, el nivel de vida de la población colombiana vuelve a la ruta de crecimiento previa a la pandemia. Se mejoran los índices de movilidad social y se reduce la pobreza. Como consecuencia, la demanda de energía en los sectores residencial y comercial aumenta. Si bien se esperaba una señal de reducción de la demanda industrial por temas de autogeneración, el establecimiento de nuevas grandes industrias en el país y la electrificación de gran parte de los procesos térmicos y de transporte aumentan los consumos de energía eléctrica. Sorprendentemente, algunas de las nuevas industrias en el Caribe colombiano se diseñan para ser completamente autosostenibles en términos energéticos, sin conexión a la red, siguiendo ejemplos internacionales. La bonanza económica también fue aprovechada para fortalecer las iniciativas de electrificación rural y de zonas no interconectadas. Las ciudades capitales de la Amazonía y Orinoquía, antes dependientes del

diesel, empiezan a generar su energía con fuentes renovables, apoyadas por baterías y microrredes. Este esquema es replicado en muchas áreas rurales del país, donde las empresas de energía, como parte de sus programas de responsabilidad social corporativa, despliegan iniciativas de electrificación de bajo costos mediante el uso de kits de paneles solares y baterías.

Aunque esto podría parecer como un panorama esperanzador para el sector eléctrico, se gesta una crisis. El aumento acelerado de prosumidores lleva a que en muchas zonas se cumplan los límites para entregar excedentes a la red planteados en el 2018. Los consumidores, al tener negativas por parte de las distribuidoras para vender excedentes, deciden instalar paneles con baterías y desconectarse de manera creciente. Los bajos costos de las baterías masifican esta tendencia, que se refleja en las curvas de demanda.

Esta situación fue invisible para los altos funcionarios del Gobierno, quienes en principio desestimaron la magnitud de los negocios detrás del contador. Omitir esto ha creado problemas en la proyección de la demanda y desaprovechado una capacidad de respuesta potencial desde los usuarios finales. Esto levanta alertas entre los técnicos de la planeación de mediano y largo plazo, que tratan, sin mucho éxito, de promover discusiones de alto nivel sobre el tema.

Por su parte, los distribuidores de energía afectados por la pérdida de usuarios hacen lobby para buscar más cargos por conexión, sobrecostos de instalación de paneles e impuestos a la entrega de excedentes. El regulador, siendo incapaz de reaccionar

a tiempo ante las disrupciones comerciales, toma acciones reactivas tratando de proteger el status quo y de tranquilizar a las grandes empresas. Sin embargo, esto genera una señal muy adversa frente a las empresas de energía en un sector grande de la población, que se desconecta y busca nuevas alternativas energéticas. Los comercializadores digitales capitalizan en estas oportunidades para crear nuevos modelos de negocio para los usuarios. Además, aprovechan la conectividad para crear nuevos modelos de mercados entre usuarios “piratas”, que no caben dentro de los alcances de la regulación.

2030

A finales de la década se gesta un logro importante: todas las ZNI de Colombia se abastecen por energía renovable y baterías. El país es capaz de electrificar al 100% de la población de la mano de las grandes empresas de energía. En la Alta Guajira los proyectos eólicos y solares desarrollan estrategias de apropiación energética para las comunidades, lo que permite electrificar totalmente a las rancherías dispersas en la región. A medida que se construyen nuevos proyectos, líneas de transmisión y expansión de líneas existentes, se desarrollan estrategias similares en los territorios del país. Precisamente, integrar a las comunidades energéticamente es lo que permite que la segunda línea a la Alta Guajira se materialice.

Gracias a una base amplia de renovables y al rol de los grandes embalses funcionando como baterías, Colombia logra tener un sistema casi totalmente carbono cero. Las plantas térmicas siguen operacionales de cuenta de los ingresos del cargo por confiabilidad y de alguna generación marginal durante las épocas de verano.

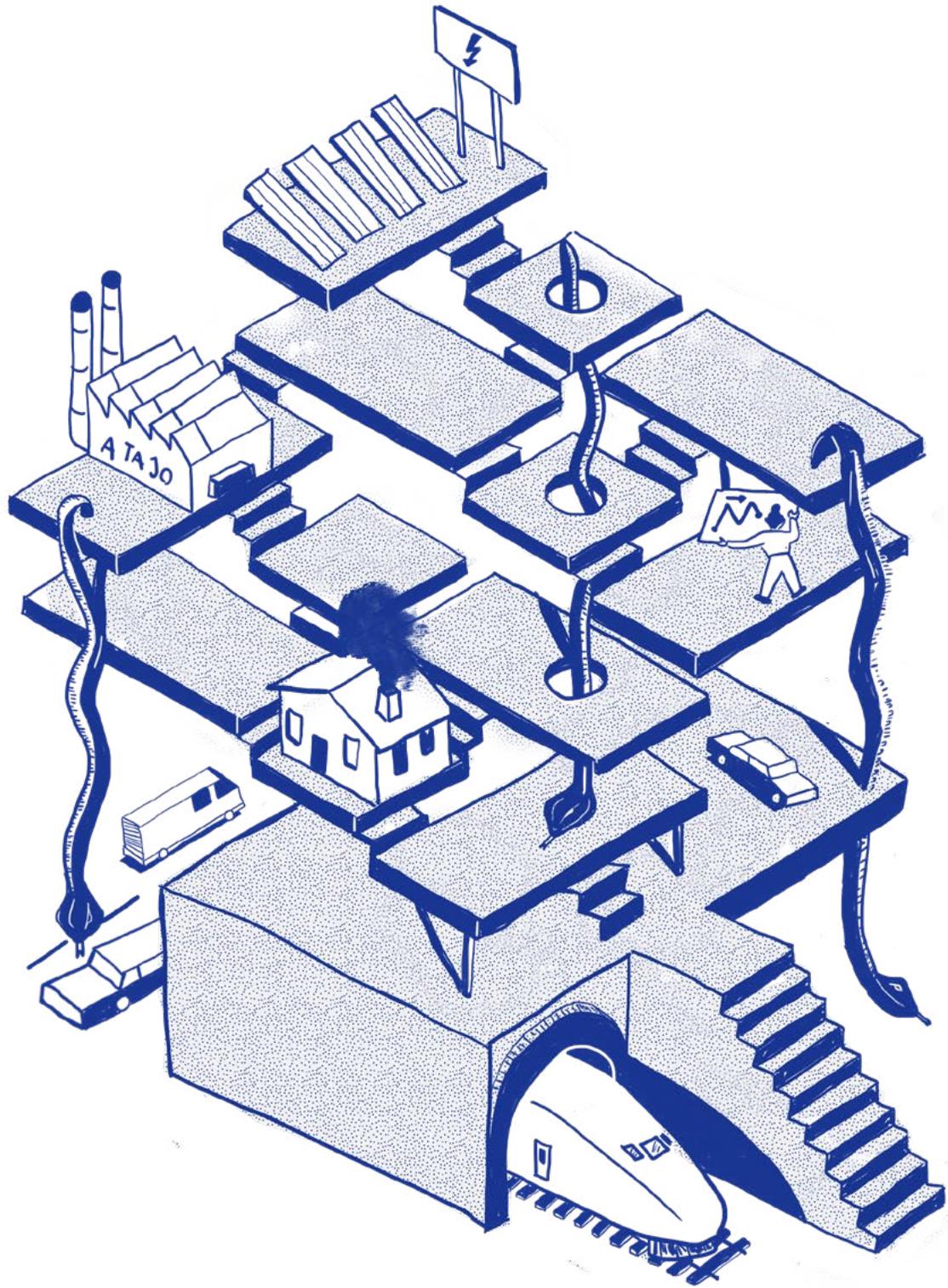
A lo largo de la década, los precios del petróleo y sus derivados se mantienen elevados, al mismo tiempo que los precios de las baterías se reducen. Ante esto, no tiene mucho sentido económico comprar nuevos vehículos a combustión. Tanto el transporte público como las flotas privadas se electrifican de forma masiva. La adopción por parte de los particulares también crece (especialmente en las motocicletas eléctricas), y las opciones para los ciudadanos se complementan con una alta penetración de la movilidad como servicio impulsado por *startups* locales y extranjeras. Esto es una buena noticia para la calidad del aire, pero debido a la falta de normativa para promover la movilidad no motorizada en las grandes ciudades, todavía persisten los problemas por el tráfico “carbono cero” y por la pérdida de vidas en accidentes de tránsito.

Los mercados piratas de energía, que en un principio parecían de nicho, se popularizan gracias a las aplicaciones digitales con inteligencia artificial, y a los kits de montaje rápido de soluciones solares residenciales que incluyen baterías, los cuales se empiezan a conseguir en almacenes de cadena y son instalados de manera simple por el consumidor. Los costos de los paneles y las baterías se reducen tanto, que tener un sistema solar se vuelve el equivalente a tener un smartphone en 2020, casi cualquier persona puede acceder a uno. Esto permite que aparezcan mercados de energía en microrredes privadas, con información invisible para el sistema, pero donde los usuarios tienen acceso y pueden desarrollar nuevos negocios. Estas microrredes se instalan en unidades residenciales, barrios y centros comerciales. Además de energía, en estas microrredes se transan otros bienes y servicios, como agua, información,

mercancías y movilidad basados en tokens, imposibles de regular de forma clásica.

La imposibilidad de hacer planeación a mediano plazo debido a la energía “invisible”, el descontento de muchos industriales y ciudadanos con las empresas de energía, los precios bajos por la masificación de los recursos energéticos distribuidos y la desfinanciación de las redes, exigen una reforma que debió hacerse hace años. Por esta razón, se aumentan los límites de la autogeneración y entrega de excedentes, se exige una obligatoriedad de reporte de generación autónoma y se trata, sin éxito, de poner límites a la prestación de energía como servicio.

Sin embargo, la falta de una reforma integral evita el desarrollo efectivo de un sistema de energía centrado en el usuario.



Escenario 3

ESCALERAS Y SERPIENTES

2022

La publicación del sexto informe del IPCC sobre el cambio climático, y los desastres ocurridos durante el 2021, envían un mensaje de alerta a los tomadores de decisiones: el mundo se enfrenta a un panorama sombrío si no se toman acciones contundentes frente al cambio climático. El aprendizaje de la importancia de la gestión preventiva que dejó la pandemia, así como la fuertísima presión de los ciudadanos a lo largo del mundo, hizo que la cumbre climática de Glasgow en 2021 se convirtiera en un punto de quiebre para la acción climática. En Glasgow, se firmó el primer compromiso internacional para reducir el uso del carbón y se refinaron los elementos que permitirían el resurgimiento de un mercado de carbono internacional. Sin embargo, también se evidenció que los compromisos de los países no eran suficientes para mantener el aumento de la temperatura por debajo de 1,5 °C, lo que se convirtió en un llamado para incrementar la ambición climática. Estas acciones complementaron los paquetes de recuperación poscovid enfocados a tecnologías limpias y descarbonización.

Gracias a esto, hay una reducción sostenida de las demandas de combustibles fósiles de las economías industrializadas, pero también de China e India. Si bien, durante 2022 todavía son grandes consumidores, la tendencia a la baja impacta los mercados y reduce la señal de precio del petróleo internacional. Esta situación se suma al hecho de que la recuperación económica de gran parte de los países en vía de desarrollo se demora hasta finales de 2022, lo que mantiene los precios bajos durante la primera parte de la década. En Colombia, la reducción de precios del petróleo y el carbón impactan de forma negativa la economía,

ya que se reducen las exportaciones, el recaudo del Estado de forma importante y, consecuentemente, la fortaleza de la moneda. A pesar de esto, el gobierno colombiano decide apostarle al desarrollo de la economía baja en carbono, aprovechando las señales internacionales de políticas climáticas y las oportunidades que surgen de allí.

Apoyado en la interacción internacional, Colombia establece un mercado de emisiones acoplado al sector eléctrico. Las cuotas de emisión impulsan la electrificación de las grandes industrias y las empresas de transporte. Además, muchos industriales encuentran que la transformación energética tiene costos bajos de oportunidad gracias a las atractivas tasas de interés posteriores a la pandemia.

Los ingresos adicionales por la venta de certificados de reducción de emisiones aumentan la competitividad de los proyectos de energías renovables de gran escala. Esto permite que los inversionistas de capital en el sector energético busquen objetos de inversión distintos a la energía fósil, con riesgo moderado y con potencial de retornos de inversión con menores tiempos de maduración. La energía solar, tanto centralizada como distribuida, y los proyectos eólicos son las alternativas principales para absorber parte de estos capitales, que expanden la matriz energética a partir de las subastas.

Por su parte, los prosumidores de energía tienen un crecimiento sostenido gracias a procedimientos sencillos de conexión y la reducción del precio de las tecnologías a nivel internacional. Sin embargo, con un peso colombiano débil, la tasa de cambio

evita que esta tecnología sea asequible para todo el mundo. La autogeneración tiene un gran impulso en los edificios gubernamentales y las empresas, ya que muchas ciudades ven en ella una forma de ahorrar costos de funcionamiento y promover un discurso de sostenibilidad. Las políticas de promoción del teletrabajo posteriores a la pandemia reducen la demanda de transporte particular, lo cual fomenta que muchos usuarios exploren alternativas distintas a los vehículos motorizados para su transporte. Por su parte, el establecimiento de restricciones vehiculares por calidad de aire y el impulso decidido a la movilidad sostenible en las ciudades llevan a las empresas de logística a adoptar la movilidad eléctrica. Si bien, desde el transporte de carga y de pasajeros, la movilidad eléctrica se convierte en el camino más claro para la expansión y el recambio de flotas, los costos de los vehículos particulares todavía son prohibitivos para un gran segmento de la población.

El gobierno que arrancó a mediados de 2022 cierra la puerta al uso del *fracking* en el país, y cumple así con sus compromisos de campaña. Los precios bajos del petróleo no hacen del *fracking* un negocio muy atractivo; entonces el Gobierno toma una decisión para evitar confrontaciones sociales y presentarse internacionalmente como comprometido frente a las acciones climáticas.

2026

A finales de 2024, Venezuela entra en un proceso de transición democrática, después de años de conversaciones con senadores demócratas de los Estados Unidos. Venezuela retorna a la economía de mercado bajo un gobierno que busca alejarse del Socialismo del Siglo XXI y, naturalmente, su primer receptor de

inversión internacional es la industria petrolera. Si bien los capitales buscan favorecer la petroquímica en el mediano plazo, en el corto plazo se aumenta la producción de los pozos venezolanos. El aumento repentino de la oferta a nivel internacional en Venezuela, el levantamiento de restricciones a la producción en el Golfo Pérsico y la tendencia de reducción de la demanda de los países industrializados mantiene bajos los precios de petróleo hasta finales de la década.

Con un nuevo socio comercial y las regasificadoras funcionando completamente, Colombia empieza a importar gas natural barato, mientras que las empresas colombianas buscan desarrollar el potencial energético renovable de Venezuela. Los precios bajos del gas favorecen la expansión de la capacidad de generación en las industrias, lo que posiciona al gas como una alternativa más barata que el carbón. El gobierno colombiano aprovecha esta situación para diseñar incentivos tributarios para fomentar el uso del gas natural, hacer recambios tecnológicos en las industrias y reducir emisiones, lo que hace que, a finales de 2026, casi todas las industrias que usaban carbón se hayan pasado al gas como su energético térmico de confianza.

Ante la reducción de la demanda internacional y nacional de carbón, el Gobierno empieza a invertir tímidamente en investigación en captura y almacenamiento de carbono para fomentar el desarrollo del hidrógeno azul en la Alta Guajira. Asimismo, algunas empresas empiezan a investigar en nuevos usos, distintos al energético, para aprovechar el potencial carbonífero del país. Durante este periodo, el Gobierno ha seguido favoreciendo a las centrales renovables, lo que ha aumentado el límite de las

plantas menores, para incrementar la competitividad, y ha flexibilizado los requisitos regulatorios. Las nuevas centrales solares de gran escala entran por fuerzas del mercado únicamente, y en 2025, el Gobierno realiza una nueva subasta enfocada en la generación eólica para expandir esta capacidad en el país y atender parte de la demanda venezolana.

Después del éxito de las baterías en la red para atender los problemas de picos en Barranquilla y Bogotá, el Gobierno decide realizar más subastas de baterías en distintas regiones del país. Estas baterías se piensan tanto para evitar expandir capacidad de redes, como para darle al operador del sistema la posibilidad de optimizar el despacho. Gracias a esto, el operador es capaz de ahorrar en costos de energía para usuarios finales, al tiempo que aumenta la confiabilidad y flexibilidad del sistema.

La energía solar distribuida sigue creciendo constantemente debido a que el costo de la tecnología es lo suficientemente bajo para ser atractiva para la clase media. Algunas reformas a la regulación permiten más capacidades en las redes, y se reglamentan procedimientos para incorporar la respuesta de la demanda de los usuarios no regulados como un recurso gestionable. Esto permite la aparición de agregadores de demanda de usuarios residenciales y que muchos empresarios tengan incentivos para optimizar su consumo y comportamiento energético. Como resultado de esto, muchos de los prosumidores de mayores ingresos incorporan baterías domésticas en sus sistemas para aumentar sus ingresos. Antes de 2025, siguiendo el ejemplo de otros países de la región, Colombia se traza una meta de no vender más vehículos a combustión a partir del año

2035, y crea un paquete de incentivos tributarios para recambio de vehículos particulares. Adicionalmente, en 2026, se cambian todas las flotas oficiales por vehículos eléctricos. Los procesos de recambio de vehículos eléctricos en las ciudades principales, que venían adelantándose desde principios de la década, empiezan a verse en ciudades intermedias.

Gracias a una campaña agresiva de acceso a la energía financiada con fondos climáticos, todas las zonas no interconectadas de Colombia se atienden con microrredes de energía solar y baterías.

2030

Durante la década, Colombia tiene un crecimiento discreto de su economía, lo cual, sumado a las estrategias de eficiencia energética, hace que la demanda de energía pueda ser atendida casi en su totalidad con energía renovable. Por eso, al final de la década, se dan fuertes conversaciones para desmontar plantas de generación de energía con carbón y combustibles líquidos, con la idea de reemplazarlas con bancos de baterías. Lo que empieza a materializarse a partir de la reforma del cargo por confiabilidad. La presencia ubicua de baterías permite que el mercado colombiano deje de valorar la confiabilidad como una función de la expansión. Aparecen nuevos conceptos para premiar la confiabilidad distribuida y para tratar de usar el sector eléctrico como un habilitador de reducción de emisiones en sectores conexos, como el transporte y la industria. En este sentido, en el 2030, el Gobierno fomenta una reforma al funcionamiento del sistema interconectado, que implementa microrredes en las ciudades con comunicación con el operador del sistema. Esto lleva a que las compañías distribuidoras modifiquen sus esquemas para operar

según la nueva normativa y se conviertan en el canal de comunicación de las microrredes con el operador.

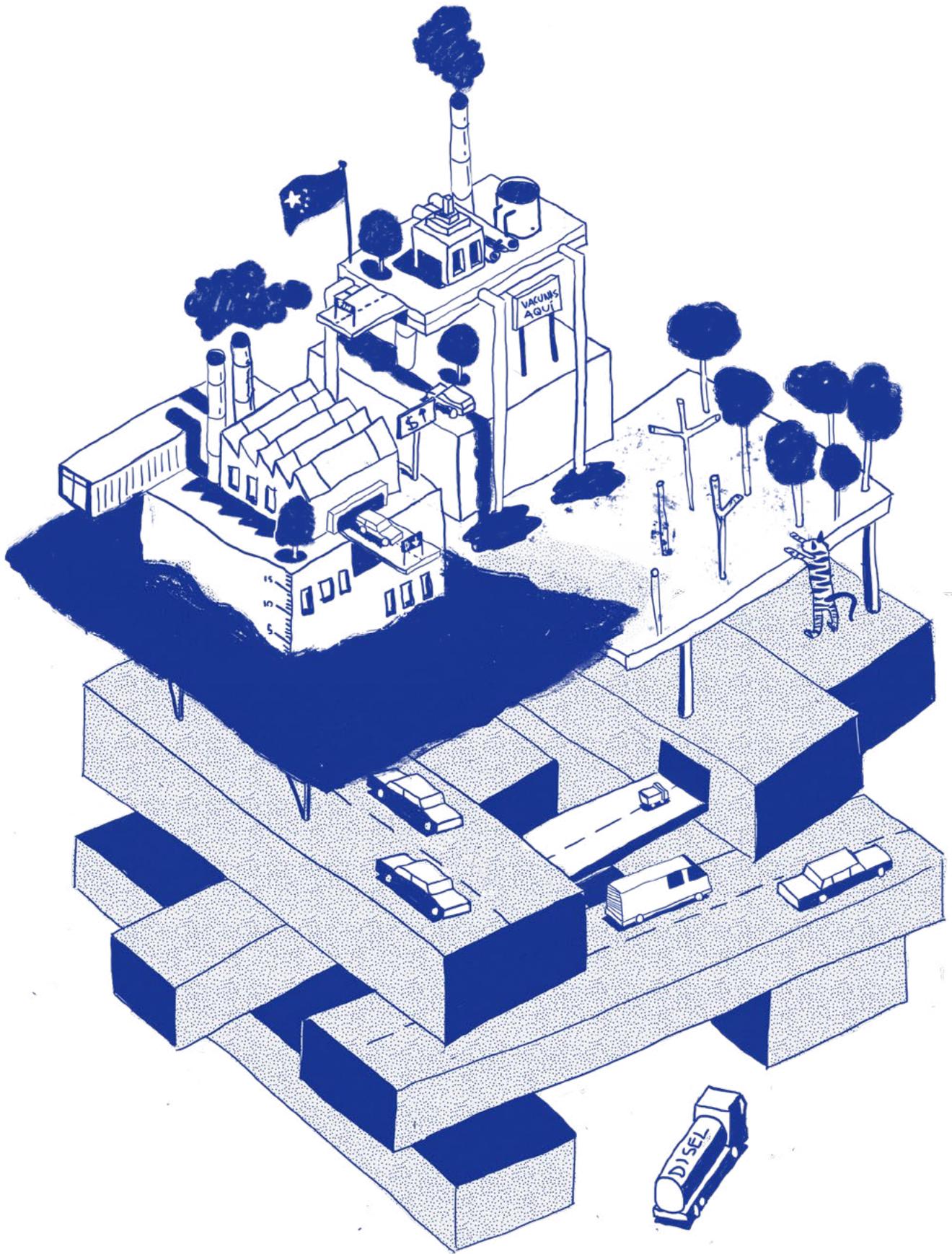
Los vehículos eléctricos continúan penetrando en Colombia, aunque con tasas de adopción muy inferiores a las que el Gobierno esperaba. Por esta razón, se impulsan estrategias de movilidad eléctrica basadas en la movilidad compartida y Colombia genera unos incentivos inmensos para que startups de vehículos eléctricos autónomos operen en el país.

Las ciudades, además de implementar zonas de baja emisión y peajes urbanos, cambian las estrategias de restricción del pico y placa a esquemas de cargo por congestión, en las que a los vehículos se les cobra una especie de peajes por salir en horas pico, con tarifas diferenciadas para los vehículos de combustión y los eléctricos. Usando fondos climáticos internacionales desde el Ministerio de Vivienda, se implementa una política muy agresiva de peatonalización de centros urbanos, que busca restringir aún más el uso de la movilidad motorizada para reducir la contaminación, lo cual causa un aumento en el atractivo de estas zonas e indirectamente, en su valorización.

Además de esto, desde el Ministerio de Vivienda se crean regulaciones en construcción sostenible, que exigen que todas las edificaciones nuevas cumplan con estándares de eficiencia energética, autogeneración solar e infraestructura eléctrica que les permita participar en la respuesta de la demanda.

Al final de la década del 2030, Colombia es capaz de tener un marco normativo completo para enfocarse en la transición

energética. Sin embargo, el crecimiento discreto de la economía no permite que las empresas y los ciudadanos aprovechen todas las oportunidades que tienen a la mano.



Escenario 4

JENGA

2022

Con la publicación del reporte de cambio climático en 2021, había una expectativa de que se incrementara la acción climática internacional, y el foco estaba puesto en el rol de liderazgo que el gobierno de Joe Biden pudiera tener. Aunque el gobierno Biden ha sido capaz de crear cambios significativos en las políticas internas, los roces permanentes con China por cuestiones geopolíticas, particularmente en relación con Taiwán, Hong Kong y la presencia militar en el Mar del Sur de China, han evitado que ambas potencias puedan trabajar conjuntamente en un acuerdo similar al logrado por Obama y Xi Jinping en 2015, el cual generó una inercia de colaboración que facilitó el acuerdo de París.

El mundo sigue lidiando con los efectos de la pandemia, que no se puede controlar completamente hasta finales del año 2022. Aunque hay excesos de vacunas en los países desarrollados, estas se demoran mucho en llegar a los países en vía de desarrollo, lo cual impacta sus economías y crea “años perdidos” en superación de la pobreza. Los países enfocan toda su fuerza diplomática en adquirir vacunas, y desatienden la diplomacia climática. Esta falta de focos evita el pleno desarrollo de mecanismos internacionales de financiación de proyectos climáticos eficientes y frustra, en consecuencia, la creación de un mercado internacional de emisiones.

La recuperación económica de la pandemia es lenta y dura varios años. Países como India, Pakistán, Bangladesh y regiones enteras como América Latina y Oceanía sufren una recesión que dura hasta mediados de la década. Esto reduce sus demandas energéticas, lo que, a su vez, crea varios años de precios bajos del petróleo.

En Colombia, la combinación entre recesión económica y bajos precios del petróleo internacional acentúan la devaluación del peso colombiano. El elevado precio del dólar frente al peso aumenta los costos de las tecnologías de generación distribuida en Colombia. Esto desacelera el desarrollo de los prosumidores de energía residenciales y comerciales y afecta nuevos proyectos de generación de energía en la red y el despliegue de almacenamiento con baterías.

En las ciudades colombianas, la pandemia reduce las necesidades de transporte, y esto afecta directamente la penetración de la electromovilidad en el segmento de transporte público. Con ingresos reducidos y un dólar por los cielos, los transportadores se enfocan en mantener a flote sus negocios en vez de pensar en reposición de flotas; por este motivo, aplazan la adopción de la movilidad eléctrica.

Frente al déficit presupuestal, las ciudades y el gobierno nacional deciden posponer las iniciativas tributarias y financieras que promovían el recambio de vehículos de transporte público y flotas oficiales con el fin de liberar presupuesto para gasto corriente. Las industrias intensivas en energía, aunque estaban interesadas en la autogeneración, aplazan inversiones cuantiosas como un mecanismo de gestión de riesgo frente a la reducción de las ventas por la recesión. En un escenario de recesión económica, las elecciones de mediados del año 2022 son particularmente polarizadas. Ante la posibilidad real de que un candidato de izquierda gane la presidencia, los grandes grupos económicos apoyan a un presidente populista de derecha que llega con un

mensaje de recuperar la economía por cualquier medio posible. Este mensaje resuena en un gran sector de la población que vio sus condiciones de vida desmejorarse por la pandemia, y terminan eligiendo a un presidente que se apoya en la economía de extracción para generar ingresos de corto plazo.

En un afán de aumentar la competitividad y desestimando sus compromisos climáticos, Colombia decide revocar el impuesto al carbono con el fin de reducir los costos operativos de la industria nacional, lo que se convierte en un desincentivo para que las empresas exploren la autogeneración. Asimismo, se desmontan los incentivos tributarios de la ley 1715 para nuevos proyectos de energía renovable, bajo el argumento de que ya pueden competir de igual a igual y que el sector se beneficiaría por la neutralidad tecnológica. Si bien se construyen los proyectos ganadores de las subastas entre 2019 y 2021, el desmonte de los incentivos tributarios evita que se lleven a cabo otros proyectos que se estaban considerando.

En aras de favorecer el comercio y la venta de vehículos, se desmontan algunos de los elementos de la sobretasa a la gasolina, para reducir el costo de los combustibles. Esto afecta los modelos de negocio de electromovilidad, que se basan en los ahorros por la inmensa diferencia de precio entre los fósiles y la electricidad. Ante la fuerte disminución de la demanda internacional de carbón y el superávit interno, el Gobierno promueve, con poco éxito, el uso de carbón en el sector industrial, en un intento de mantener el empleo de miles de personas dedicadas a esta actividad. El nuevo presidente llega con claras intenciones de aumentar la producción de combustibles fósiles: impulsa el *fracking* y la

explotación de campos offshore. Sin embargo, los precios bajos del petróleo inviabilizan los proyectos comerciales de *fracking* y limitan las nuevas inversiones en exploración.

2026

En el año 2024, hay un cambio en el gobierno en Venezuela. El nuevo presidente venezolano es recibido en la Casa de Nariño a las pocas semanas y ambos países firman un acuerdo para potenciar la economía binacional: las empresas y la banca colombiana tendrían un papel muy importante en la reconstrucción de la infraestructura venezolana y Venezuela empezaría a proveer a Colombia con gas natural y gasolina a bajos precios.

En Venezuela, la inversión extranjera en PDVSA aumenta radicalmente la producción, lo que envía una señal de expectativas que mantiene los precios bajos del petróleo a pesar de que la economía mundial se ha recuperado y la demanda energética vuelve a los niveles previos a la pandemia.

Con energéticos baratos, el gobierno colombiano promueve el uso del gas en las industrias, en las flotas oficiales y la expansión de las redes domiciliarias, así como en nuevos proyectos de transporte público. El recambio de dichas flotas se hace principalmente por vehículos a gas. Los vehículos eléctricos continúan bajando de precio. Esta señal económica causa una lenta penetración de vehículos eléctricos para particulares y para las flotas empresariales. Algunas ciudades promueven la electrificación del transporte a nivel local, pero esto no está acompañado de una política nacional. Los bajos costos de las baterías las convierten en una alternativa para prestar servicios de optimización

de despacho y servicios auxiliares al sistema eléctrico. También para mejorar la confiabilidad y competitividad de algunas centrales solares que se construyeron en el país siguiendo una señal económica de reducción de precios de la tecnología y el aumento de la demanda de energía eléctrica, gracias a la recuperación económica.

Ante el crecimiento de la demanda nacional, en 2026 el Gobierno decide hacer una nueva subasta de confiabilidad con la que se asigna energía firme a las plantas de gas natural, que tienen las mejores condiciones para competir por confiabilidad, por los bajos costos de combustibles, dada la dificultad de hacer nuevos proyectos hidroeléctricos de gran escala.

2030

A lo largo de la década, Colombia sufre una serie de inundaciones, emergencias invernales, paso de huracanes y un gran problema de salud pública por enfermedades vectoriales. Todos estos eventos son consecuencia del cambio climático, pero este no es un tema prioritario para los gobiernos. Durante estos años hay apagones a lo largo del país, incendios de cientos de hectáreas en cercanías de Medellín, Bucaramanga y Cali, la muerte de cientos de miles de cabezas de ganado, pérdidas billonarias en agricultura y una ola de calor que causan la muerte de más de 10 000 personas. La capacidad de respuesta del Estado está muy limitada por la falta de políticas e inversiones previas orientadas a la adaptación.

Los efectos de El Niño de los años 2027-2028 crean un golpe de opinión en ciudadanos y empresarios, que se enfocan con fuerza

en definir metas y objetivos ambientales y climáticos. Aunque el gas se consolida como un energético de transición, los industriales del final de la década deciden electrificarse gracias a las señales de precios y a estrategias propias de cero carbono, con el fin de responder las necesidades del mercado internacional.

La energía solar de gran escala acompañada de baterías se despliega en muchas regiones del país, debido a que los precios y la velocidad de implementación la hacen más competitiva que las otras alternativas. La energía solar barata les da a los prosumidores la oportunidad de convertirse de manera masiva en autogeneradores. La falta de promoción a la participación y las barreras desde los operadores hace que muchos de los prosumidores decidan desconectarse del sistema. Una gran parte complementa sus proyectos solares con movilidad eléctrica, que para ese momento ha bajado tanto de precio que compite de manera directa con los costos de los vehículos de combustión.

La economía colombiana empieza a desacelerarse, ya que está basada en el uso y explotación de energéticos, que cada vez tienen precios de mercados más bajos, debido a la transición energética global. En Chile, México y Brasil, los enfoques gubernamentales para apoyar la transición energética generan nuevas industrias de servicios energéticos que se expanden por toda la región, y que apenas entran a Colombia a finales de la década. Las empresas de energía en Colombia se ven amenazadas por modelos de *startups* extranjeras, lo que afecta sus ingresos y, por lo tanto, genera despidos masivos. El nuevo gobierno del año 2030 empieza entonces a desarrollar políticas de transformación económica que debieron realizarse por lo menos una década

antes. Toca ver que otros países aprovechan las oportunidades que Colombia vio pasar.

Parecidos razonables

Somos conscientes de que no hay diferencias radicales entre un escenario y otro. Esto tiene varias razones. En primer lugar, como ya hemos dicho, la metodología hace que los escenarios partan de tendencias existentes. Pero también es determinante, en este sentido, que el desarrollo del ejercicio sea relativamente corto: ocho años. Además, tenemos unos organismos de control y un Estado cuyo deber es tomar medidas para corregir el rumbo de los escenarios más adversos.

Al final del libro, adjuntamos una tabla (Anexo 2) que resume los cuatro escenarios y que es una buena herramienta para una exploración y comparación rápida.

Capítulo 5

ESCENARIOS EXTREMOS

ESCENARIOS EXTREMOS

Uno de los problemas de los ejercicios prospectivos es que la creación de futuros depende principalmente de la extrapolación de tendencias existentes. Por tal razón, es muy frecuente que los escenarios no consideren eventos de baja probabilidad pero de alto impacto o “cisnes negros” que puedan cambiar de forma radical las trayectorias.

Con el afán de evitar esto, y tener en cuenta otros puntos de vista, identificamos elementos para tratar de explorar los escenarios extremos de forma sistemática. Por tal razón, consideramos algunos planteamientos de McCollum y otros (2020), que sugieren identificar eventos de corto plazo y eventos de largo plazo teniendo en cuenta tendencias tecnológicas, sociales y geopolíticas. Como complemento, definimos unos elementos específicos para Colombia.

Los investigadores del proyecto 7 participaron en un ejercicio de identificación de hitos extremos para cada uno de los elementos planteados. Al analizar el conjunto de situaciones, fue posible separarlas en dos tendencias, una de estrés extremo del sistema y otra de transformación del mismo, como mostramos en la Tabla 5.

Estos elementos son la base para generar dos escenarios extremos adicionales que permitirán ampliar el panorama de análisis de transformación del sistema eléctrico. Para ser consecuentes con los otros escenarios, estos también tienen nombres de juegos: Jumanji y Tetris.

ESCENARIOS EXTREMOS

Jumanji, por la película de 1995 sobre un juego de mesa mágico que causaba eventos extremos de destrucción, como inundaciones y estampidas. Tetris, por el famoso videojuego, que sirve como metáfora para una transformación digital profunda.

Tabla 5 Hitos extremos identificados

Eventos de corto plazo	Jumanji Escenario de estrés extremo del sistema energético	Tetris Escenario de digitalización extrema a alta velocidad
Difusión rápida de tecnologías	No entran las renovables ni las propuestas ganadoras de las subastas, etc.	Hidrógeno, energía nuclear, <i>power to gas</i> . La electromovilidad entra de golpe y a precios bajísimos.
Caída de costos de tecnologías		La energía solar reduce sus costos con el doble de la tendencia previa. Nuevos materiales hacen que paneles solares, baterías e hidrógeno bajen de precio. Se venden empaquetamientos solar-baterías.
Políticas volátiles	Renuncias masivas en las instituciones, al punto de no gobernabilidad del sector energético (periodo interregno).	
Disrupciones de corto plazo en el mercado	El fenómeno de El Niño genera un apagón, ya que no hay suficiente energía firme para atenderlo.	
Ciclos económicos	Hay una fuerte recesión poscovid. Se quiebran grandes empresas, lo que crea efectos dominó.	Paquetes de recuperación global basados en renovables y transición energética.

ESCENARIOS EXTREMOS

Eventos de corto plazo	Jumanji Escenario de estrés extremo del sistema energético	Tetris Escenario de digitalización extrema a alta velocidad
Eventos climáticos extremos	Un fenómeno de El Niño sin precedentes	
Eventos de largo plazo	Jumanji Escenario de estrés extremo del sistema energético	Tetris Escenario de digitalización extrema a alta velocidad
Resistencia social a distintas tecnologías	Hay una fuerte oposición global a los parques eólicos en la Guajira, tanto para la generación como para la transición.	Hidrógeno, energía nuclear, power to gas. La electromovilidad entra de golpe y a precios bajísimos.
Desarrollo económico		Se electrifica la economía de manera masiva y ubicua.
Cambios estructurales a la economía	Una recesión económica sin precedentes.	Mayor influencia de China, impactos políticos, económicos, de costos de capitales y desarrollo del sector energético. Esto inyecta inmensos capitales en el sector.
Cambios fundamentales en preferencias de usuarios		Los bajos costos de la generación solar y las baterías habilitan que los usuarios finales se desconecten de forma masiva. Los usuarios prefieren energía con certificado de origen.

ESCENARIOS EXTREMOS

Eventos de largo plazo	Jumanji Escenario de estrés extremo del sistema energético	Tetris Escenario de digitalización extrema a alta velocidad
Salida de tecnologías específicas		Fin del carbón como fuente primaria para generación de electricidad.
Reorganización geopolítica	Resurgimiento del conflicto armado en Colombia.	China realiza una avanzada diplomática hacia los gobiernos de América Latina.
Automatización del trabajo		Robotización de procesos industriales.
Influencia del activismo social en políticas públicas	Hidroituango no entra por problemas de oposición ciudadana y licencia ambiental.	Despetrolización masiva en Europa.
Nuevos paradigmas de suministro de energía		Confiabilidad y energía como servicio.
Nuevos paradigmas de uso de energía		Baterías de gran rendimiento como electrodoméstico caseros habituales.

ESCENARIOS EXTREMOS

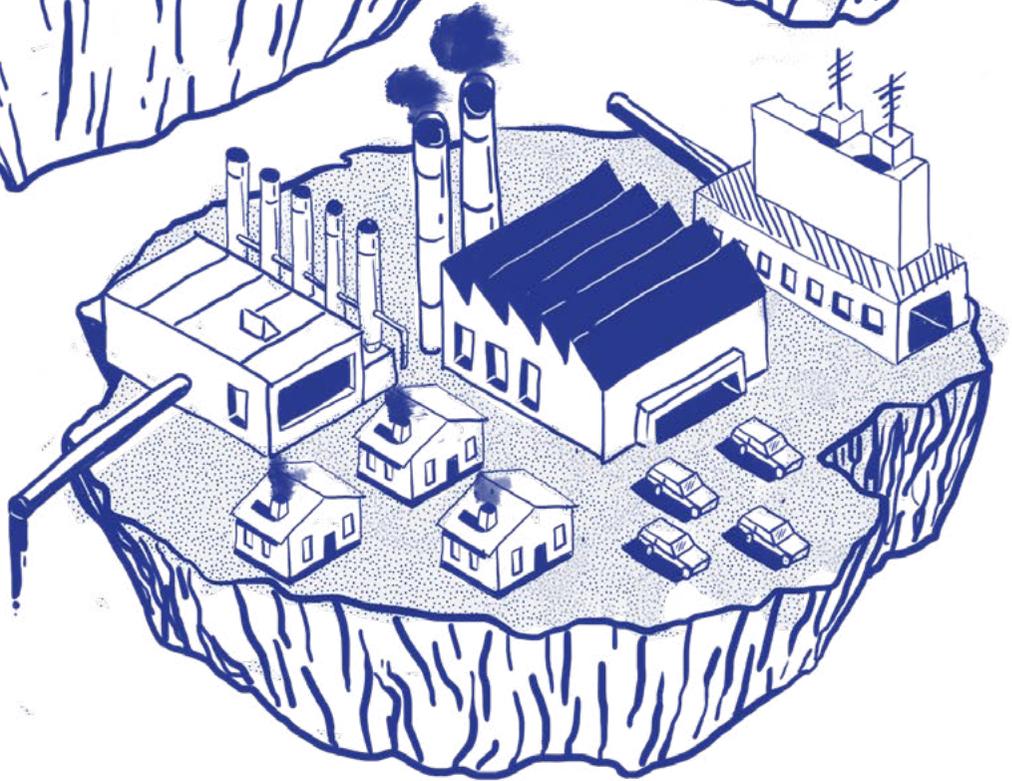
Hitos específicos para Colombia	Jumanji Escenario de estrés extremo del sistema energético	Tetris Escenario de digitalización extrema a alta velocidad
Proyectos de generación	Los problemas técnicos, económicos, jurídicos y ambientales retrasan o suspenden la entrada en operación de Hidroituango.	
Proyectos de transmisión	Se atrasa de manera importante la línea de transmisión a la Guajira.	
Cambios en el mercado		Desaparece el cargo por confiabilidad. Cambio del modelo marginalista por contratos de largo plazo con un mecanismo de ajuste. Cambio radical del mercado.
Cambio del status quo político local y regional		Mayor influencia de China en políticas regionales por compra de grandes empresas y financiación de proyectos.

Guía de color de escenarios extremos



JUMANJI

TETRIS



Escenario 6

JUMANJI

Es una situación en la que el sector eléctrico se estresa en términos de confiabilidad. Aunque después del covid hay una recuperación económica general que sube el consumo a los niveles previos de la pandemia, muchos de los ciudadanos colombianos quedan por fuera de dicha recuperación, sin empleo y con pocas oportunidades de desarrollo. Las familias que salieron de la clase media hacia la pobreza durante la pandemia pierden activos e inversiones y se encuentran en situaciones de vulnerabilidad que no les permiten aprovechar la recuperación económica del país.

Esta situación crea un fuertísimo malestar social, que se traduce en protestas a lo largo del país, similares a las del 2021. El nuevo gobierno no goza de popularidad desde el principio de su mandato y, al ser incapaz de atender las demandas de los manifestantes, las protestas crean una fuerte crisis de gobernabilidad, que frena en seco la adopción de nuevas políticas públicas para la transición energética hasta el año 2023.

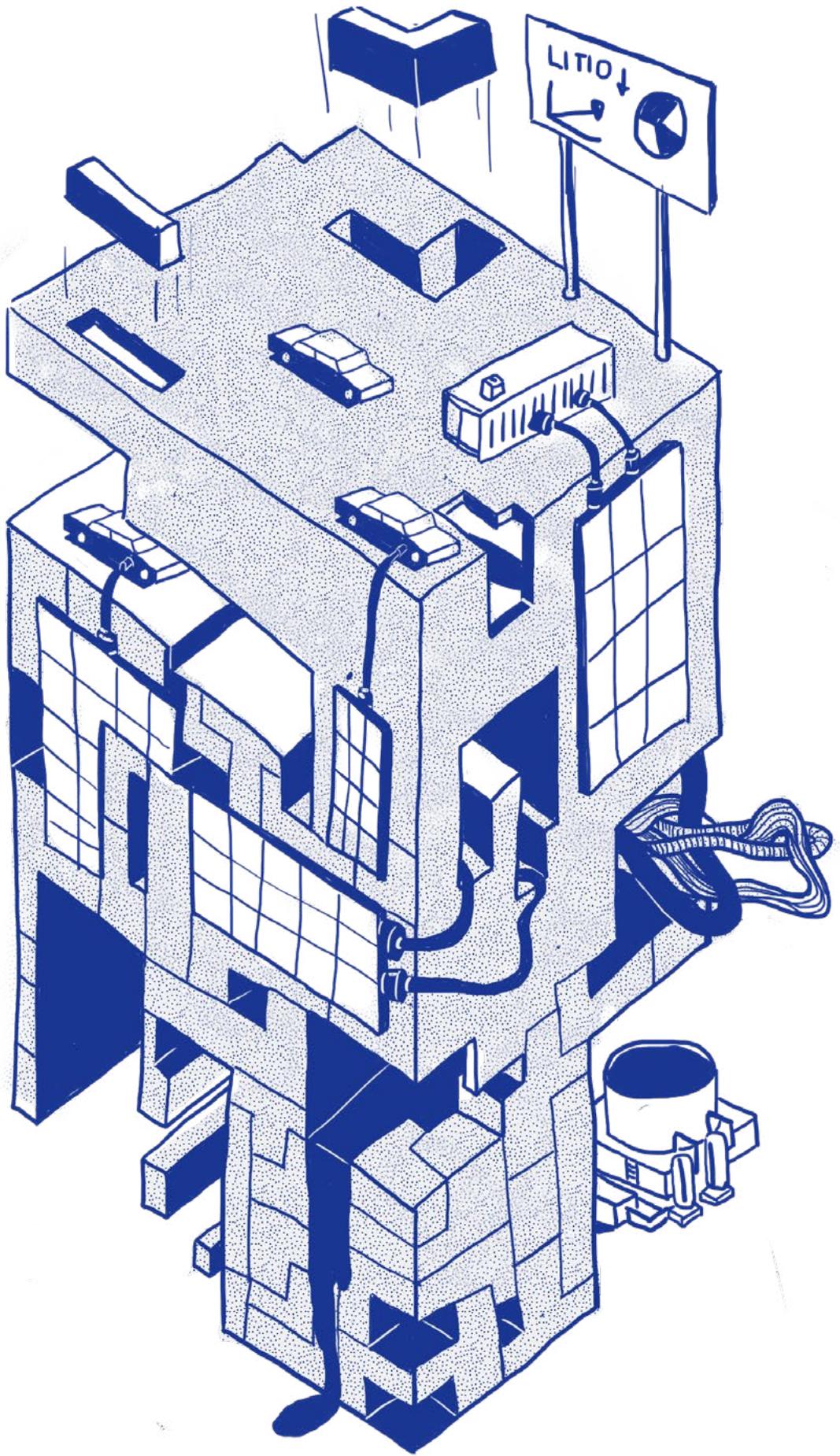
Los movimientos sociales en la Guajira se suman al malestar y generan retrasos muy importantes en la construcción de la línea Cuestecitas - La Lomay y el desarrollo de los proyectos ganadores de la subasta sufre demoras hasta de dos años en la entrada al sistema.

Ante una desestabilización institucional generalizada, los grupos armados ilegales aprovechan para escalar sus operaciones militares contra la infraestructura eléctrica. Se registran nuevamente voladuras de torres y líneas en los santanderes, la costa Caribe y el Suroeste de Colombia, lo que pone en peligro la operación del

sistema. Esta situación eleva el riesgo país y hace que las empresas de generación de energía congelen sus inversiones.

El proyecto hidroeléctrico Ituango se retrasa de nuevo, esta vez por asuntos legales y de licencia ambiental, con lo cual la primera unidad entraría en 2024. Esto se suma a un fenómeno de El Niño intenso y largo, que impacta la disponibilidad de agua en los embalses. Durante el fenómeno de El Niño, un daño en la regasificadora de Cartagena dispara los precios internos del gas natural y de los combustibles fósiles.

Colombia se enfrenta a una situación de estrés energético durante El Niño, que supone un gran problema, ya que el país no cuenta con infraestructura eléctrica lista para atenderlo.



Escenario 7

TETRIS

Un escenario de altísima disrupción tecnológica a alta velocidad. En 2022, un agresivo paquete de recuperación económica impulsado por la banca multilateral, inyecta financiación para una recuperación verde a nivel global, lo cual genera capital a bajos costos financieros para inversiones en energía renovable a lo largo del mundo. Además, después de la pandemia, empieza una puja por descentralizar la cadena de suministros de la industria energética.

Aprovechando esto, China inicia una avanzada diplomática y comercial sin precedentes en América Latina. Si bien en el pasado China había entrado en grandes proyectos de infraestructura, la nueva estrategia está basada en gran medida en impulsar la industria de manufactura energética, la digitalización y el uso de las redes 5G. Esto viene acompañado de una estrategia comercial de empresas asiáticas que buscan hacer negocios y crecer su base de clientes en la región. A modo de respuesta, y con el afán de no perder un mercado objetivo en su propio hemisferio, el gobierno norteamericano asigna fondos para las empresas que decidan desarrollar negocios en América Latina.

Con la intención de convertirse en un foco de inversión regional, el gobierno colombiano decide eliminar el IVA de las baterías y acelerar radicalmente la adopción de medición inteligente en el país. En menos de un año y medio, más del 90% de los medidores en Colombia son cambiados por medidores bidireccionales. Gracias a esto, a mediados del año 2023, el GIDI, gestor de datos del sector eléctrico, empieza a operar completamente. Esto reduce de forma muy importante las pérdidas técnicas del sistema, ya que permite identificar con mayor facilidad las acciones e

intervenciones más efectivas. Además, se convierte en un medio para impulsar la digitalización y el desarrollo de nuevos negocios en el sector.

Con la ubicuidad de la medición inteligente, se habilitan las condiciones para que los usuarios puedan elegir energía según sus atributos. Para 2024, un usuario puede cambiar de comercializador de energía casi en tiempo real con una decisión en su teléfono celular. Esto genera un nuevo mercado de modelos de cobro y características de la energía en el que los comercializadores compiten ferozmente. Los agentes adoptan una filosofía de energía como servicio.

El impulso internacional a la industria energética reduce de manera drástica los costos de tecnologías distribuidas de generación y almacenamiento. Los avances en tecnología y producción de paneles policristalinos hacen que los precios de estos decrezcan a una tasa del doble de lo que lo venían haciendo. Asimismo, en China se terminan de construir mega fábricas de paneles y baterías, lo cual aumenta la capacidad de producción y reduce los costos gracias a las economías de escala. Con energía solar fotovoltaica tan barata, muchos industriales colombianos se vuelcan a electrificar sus industrias, lo que aumenta la demanda de energía y fomenta una nueva subasta, esta vez para incluir eólica *offshore*.

Se empiezan a conseguir paquetes *plug and play* con nuevas tecnologías de paneles livianos en los almacenes de cadena, lo que masifica exponencialmente la autogeneración en Colombia y habilita, prácticamente, todos los techos del país para soportar paneles. Los costos de los DER y el boom de las baterías

domésticas fomentan la desconexión de un segmento de la población residencial. Para evitar esto, los operadores de red desarrollan nuevos canales para gestionarlos e incluirlos en la planeación de corto plazo. Las proyecciones de autogeneración más ambiciosas del escenario Ajedrez para el año 2030 se materializan en el 2025.

El sector entonces se enfrenta a un cambio estructural. La entrada en generación completa de Hidroituango, combinada con los aportes de las energías renovables no convencionales de gran escala, reducen de forma dramática el precio de la energía en bolsa. La ubicuidad de la autogeneración reduce la demanda de los usuarios finales. Por su parte, las baterías (tanto domésticas como de gran escala) hacen que el concepto de confiabilidad en Colombia se repiense. Esto fomenta un cambio radical del mercado eléctrico, el cual deja de ser marginalista y pasa a tener contratos de largo plazo con un mecanismo de ajuste.

Honrando sus compromisos climáticos, Europa se embarca en una cruzada masiva para reducir el consumo de combustibles fósiles, señales que también se emulan, aunque de forma más discreta, en Asia. Esto refuerza un discurso antifósil en todo el espectro político colombiano y fomenta un cambio de estrategia de las compañías carboneras y petroleras, que se materializa en pilotos de captura y almacenamiento de carbono para buscar competir en el naciente mercado del hidrógeno por medio de la producción de hidrógeno azul.

Capítulo 6

CONSIDERACIONES FINALES

CONSIDERACIONES FINALES

Si bien las narrativas sirven para crear unos imaginarios y definir rutas de transformación, es necesario contar con un análisis cuantitativo para efectivamente explorar los efectos de los escenarios en la sostenibilidad y confiabilidad del sistema. Esto es indispensable para entender los efectos sobre la expansión de la capacidad instalada, la formación del precio de la energía, la flexibilidad del sistema, entre otros asuntos.

Con el ánimo de generar estos datos, en el segundo volumen de este libro presentaremos los resultados de una simulación realizada en varias escalas. El equipo de investigadores de la Universidad Nacional desarrolló un modelo energético para definir cuál sería la expansión del sistema eléctrico, teniendo en cuenta los recursos y tecnologías disponibles en el país. La decisión de la expansión se hace en función de la demanda, los incentivos, los precios de la tecnología y la capacidad instalada existente. Al ser un modelo paramétrico, es posible usar los escenarios energéticos para definir forzadores y condiciones exógenas al sistema, de tal forma que podamos evaluar una combinación de distintos elementos. La tabla siguiente muestra cómo algunos parámetros del modelo pueden definirse para cada escenario principal:

Tabla 6 Parámetros del modelo energético en los escenarios

PARÁMETRO	JENGA	MONOPOLIO	ESCALERA	AJEDREZ
Tasa de cambio (USD/COP)	Aumentar	Reducir	Constante	Reducir
Costo Inversión - Fósiles	Reducir	Constante	Reducir	Constante

CONSIDERACIONES FINALES

PARÁMETRO	JENGA	MONOPOLIO	ESCALERA	AJEDREZ
Costo Inversión - Hidro	Aumentar	Reducir	Aumentar	Reducir
Costo Inversión - RNC	Aumentar	Reducir	Aumentar	Reducir
Costo O&M - Fósiles	Reducir	Aumentar	Reducir	Aumentar
Costo O&M - Hidro	Aumentar	Reducir	Aumentar	Reducir
Costo O&M - RNC	Aumentar	Reducir	Aumentar	Reducir
Precio de los combustibles fósiles	Reducir	Aumentar	Reducir	Aumentar
Impuesto al carbono	Reducir / Eliminar	Constante	Aumentar	Aumentar
Impuesto a la renta	Constante	Constante	Reducir	Reducir
Cargo por confiabilidad	Constante	Constante	Constante	Redefinido

Los parámetros no son la única forma de incluir los escenarios en el modelo. Durante el desarrollo de este proyecto de investigación, hemos estudiado cómo los escenarios impactan la auto-generación de energía, la penetración de vehículos eléctricos y las tendencias de construcción sostenible.

Combinando estos datos, es posible tener una señal de demanda de energía eléctrica diferenciada para cada escenario. Como resultado de la modelación, tendremos la composición de la matriz

CONSIDERACIONES FINALES

energética mes a mes hasta el año 2030, con lo que es posible estudiar cómo serían los efectos en el despacho, las emisiones de CO₂ y el precio de la energía. Adicionalmente, esto permite entender la capacidad del sistema para ser flexible y evaluar la seguridad energética con distinta penetración de tecnologías renovables. El análisis conjunto de estos resultados permitirá evaluar las estrategias para la transformación del sistema y contrastarlas con los planes de expansión actuales y las recomendaciones de la misión de transformación energética.

Las varitas mágicas

Una de las limitaciones de los ejercicios prospectivos es que, al basarse en análisis de las tendencias, necesariamente limita la capacidad de entender el impacto de tecnologías transformadoras o *game-changers*. Como parte de nuestro análisis, identificamos tres tecnologías con potencial de modificar fuertemente el sistema energético como lo conocemos: el hidrógeno, la energía nuclear y las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.

En algunos lugares del mundo, se están desarrollando proyectos de captura y almacenamiento de carbono, motivados principalmente por la necesidad de reducir emisiones. Hasta donde pudimos identificar, en Colombia no existe ningún piloto ni proyecto de esta naturaleza, y es posible que los esfuerzos en reducción de emisiones se enfoquen en reforestación transporte sostenible y energía renovables, como se ha venido haciendo. Durante el año 2020, las inversiones y anuncios relacionados con el hidrógeno tuvieron un impulso tremendamente importante a nivel internacional, lo que ha generado expectativas en el uso

CONSIDERACIONES FINALES

de este combustible como un elemento de la transición energética. Esto no fue ajeno a América Latina. El gobierno chileno publicó una hoja de ruta de implementación y el gobierno colombiano empezó a desarrollar la suya, a partir de los incentivos para la implementación de la Ley 2099 de 2021. La tecnología del hidrógeno, si bien es promisoría, todavía necesita del desarrollo de un mercado nacional, donde haya oferta y demanda.

A diferencia del hidrógeno y la captura y almacenamiento de carbono, la energía nuclear es una tecnología probada y con un mercado existente. En Colombia, una central nuclear podría tener ingresos por cargo por confiabilidad y, al mismo tiempo, incentivos tributarios por ser una fuente de energía no convencional, según la Ley 1715. A pesar de tener todas las condiciones de mercado a su favor, es difícil que haya energía nuclear en Colombia, debido a los tiempos y costos de implementación y a los retos relacionados con la percepción de seguridad, la falta de capacidades nacionales y los asuntos sociales y de opinión pública. Esto podría cambiar con la llegada de los reactores modulares pequeños (SMR) que garantizan mayor seguridad y velocidad de instalación, aunque todavía faltan unos años para que tengan un desarrollo tecnológico comercial.

Por estas razones, no consideramos que estas tecnologías pudieran ser una realidad comercial en Colombia antes del año 2030, y de aparecer en las narrativas de los escenarios, lo hacen como proyectos piloto. Esto dicho, no estamos exentos de que algún cambio radical en las condiciones tecnológicas, comerciales o de entorno pueda viabilizar estas alternativas.

CONSIDERACIONES FINALES

¿No se puede predecir el futuro?

Para terminar, vale la pena hacer una reflexión sobre lo fútil que es pretender que una de estas narrativas sea acertada. El futuro es imprevisible y, por más sofisticadas que sean las herramientas, coherentes las descripciones y profundos los análisis, inevitablemente nos equivocaremos.

Pero el que sean equivocadas no quiere decir que sean inútiles. Un ejercicio de escenarios busca ampliar el rango de posibilidades y el panorama de los tomadores de decisiones. Posibilidades e hitos que individualmente pueden parecer absurdos en el marco de la realidad actual, terminan clarificándose con las narrativas, que dan pistas sobre las condiciones necesarias para su materialización.

Las narrativas son caminos imaginados que permiten evaluar el futuro de manera sistemática, que sirven para entender las distintas opciones y crear cierta familiaridad con las cosas que se podrían esperar a futuro.

Yuval Noah Harari, en su libro *Homo Deus*, hace una serie de provocadoras predicciones sobre el futuro de la humanidad, considerando los impactos de los datos, la modificación biológica y la inteligencia artificial. Allí reflexiona sobre la utilidad de sus imaginarios. No son tanto una profecía como una forma de analizar nuestras opciones actuales, afirma. Y tanto mejor si el análisis lleva a decisiones diferentes para evadir la predicción. El sentido mismo de la predicción es la posibilidad de cambio. Siguiendo esta línea de pensamiento, como autores esperamos que estas narrativas, irremediabilmente erróneas, puedan

CONSIDERACIONES FINALES

ayudar a los lectores a entender los tiempos que corren y los inspiren a tomar acciones para transformar el sector energético de una forma mucho más decidida.

Capítulo 7

ANEXOS

Anexo 1: Entrevistas a líderes del sector energético

Estas entrevistas se realizaron durante la exploración de escenarios previos al ejercicio prospectivo. Los líderes entrevistados fueron:

Camilo Marulanda

Presidente de ISAGEN

Jorge Londoño de la Cuesta

Gerente general de EPM

Jaime Alejandro Zapata

Gerente Centro Nacional de Despacho XM

César Ramírez

Vicepresidente de Transporte de Energía en ISA

Carlos García

Subdirector de Demanda UPME

Diego Mesa

Viceministro de Energía

Lucio Rubio

Presidente de ENEL Colombia

Ricardo Sierra

Presidente de CELSIA

A continuación, algunas respuestas destacadas de las entrevistas:

Cuando usted piensa en la transición energética en Colombia, ¿cuáles son los asuntos que no lo dejan dormir tranquilo?

- Darle a la demanda un rol mucho más activo, el sector siempre ha sido dominado por la oferta.
- Fomento de energías renovables, automatización y digitalización para resiliencia en redes eléctricas, plataformas urbanas y movilidad eléctrica.
- ¿Cuánto puede estar pagando de más la sociedad por demorarnos en adaptarnos a las nuevas tecnologías?
- Pienso en un futuro descarbonizado, descentralizado y digitalizado.

¿Qué cambios estructurales pueden darse en el sector energético?

- El cambio en el flujo de las redes va a tener un impacto en el mercado. Va a haber generación en ciertos núcleos que van a salir a exportar. Microgrid. Minimercados. El primero que va a sufrir es el distribuidor.
- La penetración del uso de electricidad en muchos sectores, especialmente en el transporte. El nombre del juego se va a llamar transporte eléctrico: movilidad más limpia, las baterías como fuentes de distribución móvil de energía e incremento en la demanda de energía en el país.
- El ingreso de las renovables no convencionales. Con la normatividad que se está desarrollando pueden representar un 10% de la matriz y esto llega a complementar muy bien la matriz existente.

¿Cree usted que pueden llegar nuevos agentes al sector? ¿Cómo se los imagina?

- Agentes de menor tamaño. La promesa de los prosumidores nos va a llevar a nuevas categorías de proveedores de servicio y de productos en el sistema energético colombiano.
- Un usuario inteligente que va querer decidir cómo va a ser su portafolio de energía y en qué momento del día la quiere usar.
- Comercializadores netamente digitales, los cuales ofrecerán sus servicios a los clientes con algunos diferenciadores en servicios asociados.
- El sector petróleo se puede integrar al sector eléctrico. También habrá unas sinergias entre el sector eléctrico y el sector telecomunicaciones.
- Uber y Airbnb son empresas que sin tener activos prestan servicios. La energía como una suscripción.

¿Qué tecnologías pueden tener mayor impacto en el sector en la próxima década?

- Medición inteligente, redes inteligentes e internet de las cosas. Todo lo que le dé mayor información a los consumidores para el uso de la energía.
- De 4000 MW nuevos que vamos a tener en 2023, 1400 van a ser de renovables no convencionales.
- Consideramos que la tecnología que tendrá el mayor impacto en el sector será el almacenamiento. El costo de las baterías de ion de litio está experimentando lo que los paneles solares han venido experimentando en los últimos 20 años.

En términos políticos, sociales y económicos, ¿qué tendencias serán importantes para la toma de decisiones futuras en el sector?

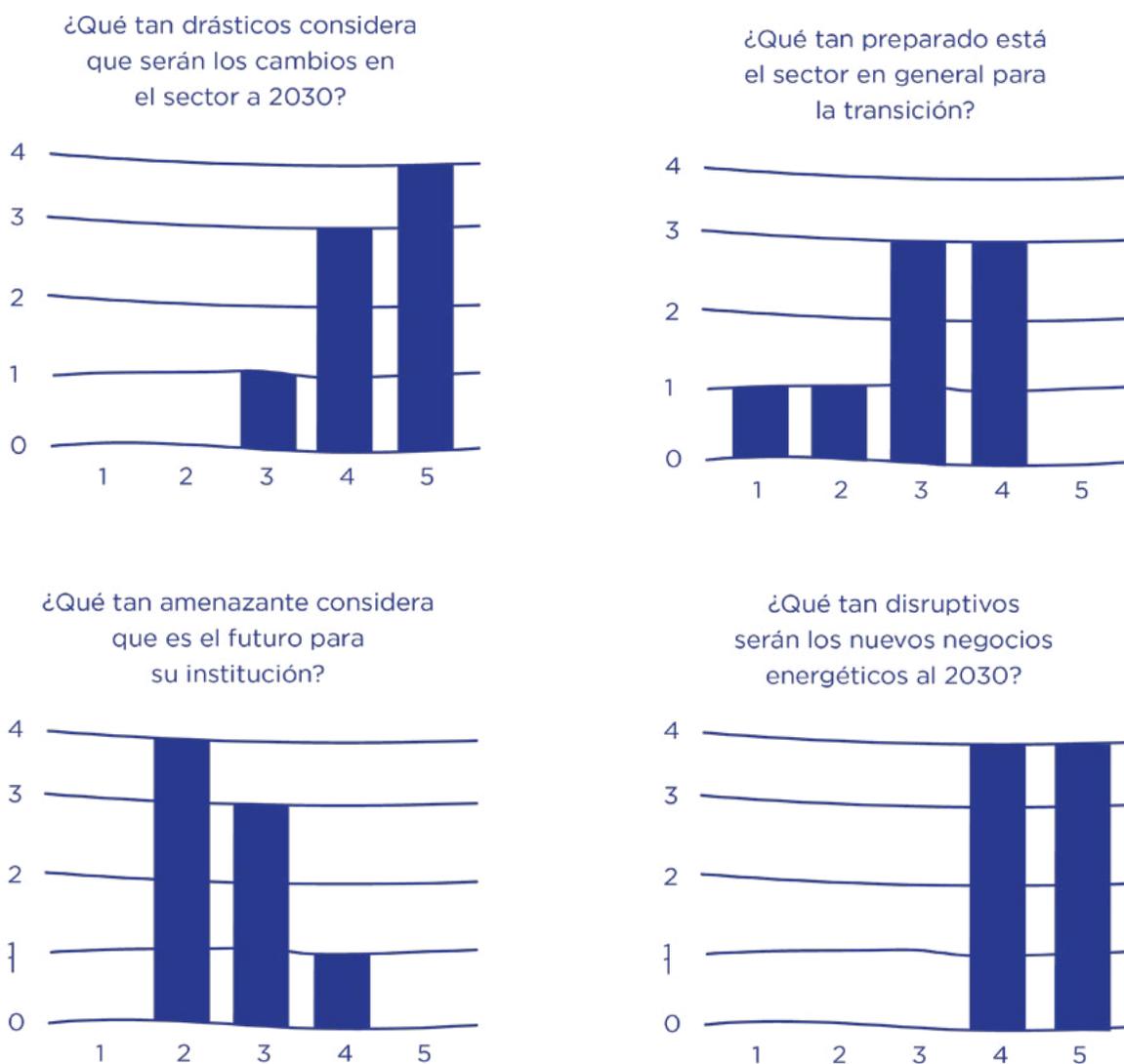
- Las ciudades van a convertirse en actores protagónicos del desarrollo energético.
- Indudablemente hay dos fenómenos: la preocupación por las afectaciones ambientales y que las comunidades cada vez son más demandantes.
- Sin duda alguna y de primer orden, los compromisos ambientales de carácter global serán la primera restricción.
- Descentralización. Hay experiencias donde una comunidad le vende energía a la comunidad vecina y salen del sistema eléctrico.
- El sector eléctrico siempre ha estado muy aparte. Necesitamos información intersectorial: eléctrico, energético, gas, salud, movilidad, alimentación.

Si usted pudiera viajar en el tiempo al año 2030 para hacerle una pregunta a su sucesor, ¿qué le preguntaría?

- ¿Cuál fue nuestro rol para tener un millón de vehículos eléctricos a 2030?
- ¿Qué tanto se ha deteriorado o se ha mejorado la atención de la demanda en el país una vez incorporamos todas las nuevas tecnologías?
- ¿Llegamos a tiempo con las soluciones para el cambio climático?

Para algunas preguntas, los entrevistados debieron responder con un puntaje de 1 a 5 (1: muy bajo y 5: muy alto). Lo que muestran las gráficas a continuación (Figura 6) es el número de personas que calificaron con cada valor.

Figura 6 Respuestas numéricas de los entrevistados



Anexo 2: Resumen de los escenarios

La siguiente tabla contiene un resumen que considera distintos aspectos de los escenarios que hemos propuesto. Puede ser usada como referencia rápida y herramienta de comparación entre los escenarios.

Tabla 7 Resumen de los escenarios

Eje 1: Señal Económica	
JENGA	Débil
MONOPOLIO	Fuerte
ESCALERA	Débil
AJEDREZ	Fuerte

Carbón	
JENGA	Declive progresivo de la producción en Colombia para exportación. Grandes presiones políticas y económicas para usar carbón en generación eléctrica. Una planta de carbón grande en la costa Caribe, en Tamalameque, de 500 MW
MONOPOLIO	Aumento en la explotación de carbón para exportación. Ante los precios de las renovables, no entran plantas nuevas a carbón
ESCALERA	Declive progresivo de la producción en Colombia para exportación. Se cierra la posibilidad de nuevas plantas a carbón. Definición de una política postextractivista
AJEDREZ	Aumento en la explotación de carbón para exportación. Definición de una política postextractivista a partir de 2030. Investigación fuerte para encontrar nuevos usos del carbón térmico. Se cierra la posibilidad de plantas nuevas y hay fuertes presiones políticas y económicas para evitar el uso en generación e industria

Eje 2: Políticas frente a transición energética	
JENGA	Desfavorables
MONOPOLIO	Desfavorables
ESCALERA	Favorables
AJEDREZ	Favorables

USD	
JENGA	Precios altos del dólar, que encarece tecnologías renovables (depende del precio del petróleo, bajan ingresos y exportaciones)
MONOPOLIO	El dólar baja, y las tecnologías renovables se abaratan
ESCALERA	Precios altos del dólar, que encarecen tecnologías renovables (depende del precio del petróleo, bajan ingresos por exportaciones)
AJEDREZ	El dólar baja, y las tecnologías renovables se vuelven más baratas

Gas	
JENGA	No se desarrollan campos nuevos. Dependencia de gas regasificado
MONOPOLIO	Más exploración y explotación de gas en la cuenca Caribe. Baja la dependencia de la regasificación
ESCALERA	No se desarrollan campos nuevos. Dependencia de gas regasificado
AJEDREZ	Más exploración y explotación de gas en la cuenca Caribe. Baja la dependencia de la regasificación. Fuerte discurso gubernamental del gas como combustible de transición

Finanzas del estado	
JENGA	Desfinanciación del Estado. Esto puede incentivar la venta de activos estatales. Menor generación de regalías. Baja la inversión estatal. Crecimiento similar al actual
MONOPOLIO	Buen panorama financiero del Estado. No hay presión por incentivar venta de activos estatales. Ampliación de infraestructura física de transporte y carreteras secundarias
ESCALERA	El Estado busca recursos de fondos de cooperación climática para electromovilidad, renovables y otras acciones de mitigación del cambio climático
AJEDREZ	Una combinación entre fondos de cooperación climática, impuesto al carbono y aumento de las exportaciones le dan al Estado gran capacidad de inversión en adaptación y mitigación. El mercado creciente genera presiones para que el país deje de ser únicamente importador y entre a la cadena de valor de energía renovable.

Mercado de Energía	
JENGA	Muy parecido al actual: el cargo por confiabilidad se mantiene. Entra carbón
MONOPOLIO	Muy parecido al actual: el cargo por confiabilidad se mantiene. No se tienen en cuenta a los mercados pequeños ni microrredes
ESCALERA	Acoplado al mercado de emisiones. Se elimina el cargo por confiabilidad y se crean mercados de respuesta de la demanda, peer to peer y servicios auxiliares. Se liberaliza la comercialización de energía para darle más participación y flexibilidad a los no regulados
AJEDREZ	Acoplado al mercado de emisiones. Se elimina el cargo por confiabilidad y se crean mercados de respuesta de la demanda, peer to peer y servicios auxiliares. Se liberaliza la comercialización de energía para darle más participación y flexibilidad a los no regulados. Después de unos años de apertura, los bajísimos precios en generación, los crecientes costos en TyD, el cambio en la confiabilidad y las nuevas realidades del mercado exigen una reforma completa.

Hidráulica	
JENGA	Expansión en centrales medianas a filo de agua
MONOPOLIO	Expansión en centrales medianas a filo de agua
ESCALERA	Expansión en centrales pequeñas a filo de agua. Se cierran las posibilidades a las medianas y grandes centrales, por temas ambientales
AJEDREZ	Expansión de centrales pequeñas a filo de agua y surgimiento de prosumidores hidroeléctricos en la región andina
Pro sumidores	
JENGA	Desarrollo tímido de prosumidores. Grandes superficies, industrias y comercios. Residencias granulares
MONOPOLIO	Desarrollo fuerte de prosumidores gracias a las señales económicas. Grandes superficies, industrias y comercios, y residencias de estratos altos. Se llega hasta los límites establecidos por la CREG. Se empiezan a tener conexiones fuera del sistema
ESCALERA	Crecen organizadamente, gracias a procedimientos sencillos de conexión. Se establecen microrredes conectadas al CND, que se comunican entre ellas. La autogeneración se masifica en las empresas, debido a incentivos gubernamentales y el cumplimiento de exigencias ambientales del Estado
AJEDREZ	Adopción masiva, alcanzando los topes de autogeneración planteados en 2030. La curva del pato se convierte en una situación cotidiana del sistema. Aparecen los agregadores de demanda, flexibilidad y microrredes

Baterías	
JENGA	Baterías en la red de transmisión para servicios auxiliares
MONOPOLIO	Gran penetración de baterías para garantizar la controlabilidad de las renovables intermitentes, en el SIN. Baterías para servicios auxiliares y atender restricciones, porque son más baratas de instalar
ESCALERA	Gran penetración de baterías para garantizar la controlabilidad de las renovables intermitentes, en el SIN. Se despliegan baterías de gran escala en la red y en los usuarios de mayor consumo para participar del mercado de respuesta a la demanda
AJEDREZ	Las baterías se vuelven un imperativo, dada la adopción masiva y la penetración de gran escala de las renovables

Emisiones	
JENGA	Reducción de emisiones del sector eléctrico por Ituango y entrada de renovables. No hay reducción de emisiones significativas en transporte. El Gobierno se concentra en reforestación para cumplir compromisos
MONOPOLIO	Menos emisiones del sector eléctrico y del sector transporte
ESCALERA	Se establece un mercado de emisiones interno en Colombia, con metas sectoriales. Esto se convierte en un forma de reducir emisiones
AJEDREZ	Se establece un mercado de emisiones interno en Colombia, con metas sectoriales, el cual es adoptado con fuerza por las empresas de los diversos sectores. Los ingresos por reducción de emisiones potencializan nuevos negocios

Petróleo	
JENGA	Sigue la explotación: alrededor de 800 000 barriles diarios. Unos pocos campos de fracking
MONOPOLIO	Impulso gubernamental fuerte al fracking, desarrollo de campos. Aumenta la explotación de petróleo: más de 1000000 de barriles diarios
ESCALERA	Sigue la explotación: alrededor de 800 000 barriles diarios. No hay nada de fracking
AJEDREZ	Aumenta la explotación: más de 1 000 000 de barriles diarios y no hay fracking
Electromovilidad	
JENGA	Avanza lentamente. Proyectos exitosos de transporte masivo en grandes ciudades. No hay grandes incentivos para los particulares
MONOPOLIO	Avanza a un buen ritmo. Proyectos exitosos de transporte masivo en grandes ciudades y en ciudades intermedias. Los particulares van migrando progresivamente, según las señales del mercado
ESCALERA	Se establecen zonas de restricción en el centro de las ciudades. Fuertes incentivos tributarios para la adopción de electromovilidad, pero hay una adopción lenta de los particulares al no tener señales económicas favorables. Las empresas electrifican sus flotas para cumplir con las cuotas de emisión
AJEDREZ	Se establecen zonas de restricción en el centro de las ciudades, lo que impulsa la adopción masiva por parte de particulares. Hay electrificación total del sistema de transporte público a 2030. El Gobierno empieza a plantear ferrocarriles eléctricos en la región Caribe

Electrificación de la matriz secundaria	
JENGA	No hay incentivos económicos ni para la movilidad ni para la industria. Expansión del gas domiciliario para pequeñas ciudades
MONOPOLIO	Hay incentivos económicos para que las industrias se electrifiquen y se conviertan en autogeneradores eléctricos. Se popularizan flotas de transporte eléctrico comerciales. Menos expansión de gas domiciliario
ESCALERA	Las cuotas de emisión ayudan a electrificar la parte de la matriz de las grandes industrias y las empresas de transporte. Los precios de las tecnologías son prohibitivos para las pymes
AJEDREZ	Nuevos modelos de negocio y financiación no convencional. CND desarrolla un nuevo esquema enfocado al usuario final. Comunicación entre el mercado mayorista y el mercado minorista. Explosión de nuevos esquemas de mercado y modelos de negocio
Tecnologías disruptivas a gran escala	
JENGA	No hay incentivos económicos para despliegue a gran escala, excepto por baterías en las plantas térmicas y algunas para mejorar la transmisión
MONOPOLIO	A pesar de los incentivos económicos para el hidrógeno, no hay proyectos por falta de política que apoye su despliegue
ESCALERA	Se empieza a hablar de energía nuclear en Colombia, pero hay una fuerte oposición ciudadana
AJEDREZ	Con precios bajos de la tecnología e incentivos, el hidrógeno empieza a posicionarse como una alternativa para procesos térmicos. En 2030 se tiene el primer piloto para el país

Actitud social	
JENGA	Presiones sociales causadas por regalías. Presión social en las ciudades por contaminación atmosférica. Oposición de grupos de interés al desarrollo de carbón
MONOPOLIO	Oposición a gran escala al fracking. Presión para permitir mayor participación de prosumidores. Arranca oposición a las renovables de gran escala
ESCALERA	Oposición a la energía nuclear, descontento ciudadano y empresarial por tener que hacer inversiones costosas para cumplir con cuotas de emisión
AJEDREZ	Preocupación y enfrentamientos por acceso y uso de datos de los usuarios. Preocupación ambiental por la fabricación y los desechos de las baterías
Interconexiones internacionales	
JENGA	No hay un mercado lo suficientemente fuerte para expandir las interconexiones
MONOPOLIO	El Gobierno promueve interconexiones internacionales enfocadas en la venta de superávit de energía. No hay mercados integrados
ESCALERA	El Gobierno promueve activamente la interconexión con Panamá y el mercado con Ecuador para robustecer el sistema y reducir emisiones conjuntamente entre países. Una de estas dos opciones se materializa a 2030
AJEDREZ	Fuertísima presión de Colombia a los vecinos para interconectarse

Digitalización	
JENGA	Poca, porque no hay regulación que la facilite ni condiciones económicas que la incentiven. Pocos prosumidores. Reducción de pérdidas por despliegue de AMIs
MONOPOLIO	Las condiciones económicas promueven nuevos negocios de energía por fuera de la regulación y detrás del contador. Baterías domésticas, mercados P2P piratas, un escenario de uberización
ESCALERA	La digitalización se ve fortalecida gracias a un marco regulatorio que la promueve y a la búsqueda de nuevos modelos de negocio y financiación no convencional
AJEDREZ	Nuevos modelos de negocio y financiación no convencional. CND desarrolla un nuevo esquema enfocado al usuario final. Comunicación entre el mercado mayorista y el mercado minorista. Explosión de nuevos esquemas de mercado y modelos de negocio

Capítulo 8

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Ejercicios de escenarios previos en el contexto internacional

- WEC: World Energy Scenarios 2017, Latin America And The Caribbean
- Energywatch Group: Global Energy Systems Based In 100% Renewable Energy
- BP Energy Outlook - 2018 edition
- EIA: Anual Energy Outlook
- Shell
- ExxonMobil: 2018 Energy & Carbon Summary
- TWI 2050 Transformations to Achieve the Sustainable Development Goals
- Documentos del World Economic Forum
- The Future of Electricity - New Technologies Transforming the Grid Edge
- Frameworks for the Future of Electricity
- Leading the Transformation through Multistakeholder Cooperation
- Electric Vehicles for Smarter Cities: The Future of Energy and Mobility
- Game Changers in the Energy System - Emerging Themes Reshaping the Energy Landscape

Ejercicios de escenarios previos en el contexto nacional

- UPME: Ideario energético 2050, Integración de las energías renovables no-convencionales en Colombia, evolución tecnológica del consumo energético en Colombia
- SER Colombia: Alternativas para la inclusión de FNCER en la matriz energética colombiana
- Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2017-2018

REFERENCIAS

- Quiceno et al. 2019. Scenario analysis for strategy design: A case study of the colombian electric industry

Bibliografía general

- Salazar, Carolina. 2021. “La caída de 6,8% del Producto Interno Bruto de 2020 fue la peor de la historia del país”. En: La República.
- Unidad de Planeación Minero-Energética. 2020. “Proyección de demanda de energía eléctrica y gas natural 2021-2035”. www1.upme.gov.co
- Borger, Julian. Enero 21, 2020. “US underprepared for coronavirus due to Trump cuts, say health experts”. The Guardian
- International Energy Agency. Marzo 31, 2020. “How to make the economic recovery from coronavirus an environmentally sustainable one”. www.iea.org
- Barron, Laignee. Marzo 13, 2020. “What We Can Learn From Singapore, Taiwan and Hong Kong About Handling Coronavirus”. Time
- Harari, Yuval. Mar 20, 2020. “Yuval Noah Harari: the world after coronavirus”. Financial Times
- Vodafone. Mar 18, 2020. Vodafone.com
- Ding, Helen & Kean, Wee. Abril 20, 2020. “4 Investment Areas to Stimulate China’s Economy After COVID-19”. World Resources Institute
- Schwartz P. The art of the long view: Planning for the future in an uncertain world. Ed. Currency. 227 páginas. 1996

REFERENCIAS

Notas al pie de página

1. Vale la pena notar que en el corto plazo, las acciones gubernamentales de emergencia en Colombia buscan mantener el servicio sacrificando ingresos destinados a los chatarrización.
2. Una arenera regulatoria es un entorno de pruebas creado por actores del gobierno para evaluar productos y servicios innovadores y con potencial disruptivo de manera controlada. De esta forma, empresas y emprendedores pueden ensayar nuevos modelos de negocio con unas fronteras limitadas, durante un tiempo específico, y con salvaguardas claras para evitar cualquier impacto negativo en los usuarios.
3. Esta situación ocurre cuando la demanda de energía baja abruptamente al medio día por exceso de generación de energía solar. Se llama curva del pato por la similitud que tiene la curva de demanda con el contorno de un pato.

Capítulo 9

LOS AUTORES



Santiago Ortega Arango

Ingeniero civil, magíster en Ingeniería de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia y *fellow* en Global Journalism de la Munk School of Global Affairs de la Universidad de Toronto. Tiene amplia experiencia en investigación aplicada en cambio climático, energía renovable y transición energética con la Universidad Nacional y la Universidad EIA. Fue fundador del Grupo EnergEIA, la estrategia de energía renovable de la Universidad EIA que se enfoca en estudiar el rol de los prosumidores de energía en el sector eléctrico y en identificar oportunidades de negocio que permitan la transición energética. Correaliza el programa de radio Energía pura. Es uno de los socios fundadores y es actualmente el director de Innovación de Emergente Energía Sostenible.



Enrique Ángel Sanint

Ingeniero civil con maestrías en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, de la Universidad Nacional de Colombia, y en Ingeniería Ambiental, de la Universidad de California, Davis. Trabajó como planificador ambiental, director ambiental y director de planeación corporativa en Interconexión Eléctrica S.A. Ha prestado asesorías a OLADE, Banco Mundial, PNUD, WWF y autoridades ambientales en Colombia y Panamá. Ha sido consultor empresarial

en los sectores de energía, minería, vías, salud e innovación. Es profesor de pregrado y posgrado de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad EIA. Ha publicado tres libros en temas relacionados con energía y medio ambiente y tiene sesenta publicaciones en revistas y congresos técnicos nacionales e internacionales. Sus principales campos de trabajo son el direccionamiento estratégico y la aplicación de métodos cuantitativos a la gestión ambiental.



Andrés Jaramillo Vélez

Obtuvo el título de ingeniero electricista de la Universidad Pontificia Bolivariana y los máster en Economía, de la Universidad Nacional de Colombia, y en Gestión del Sector Eléctrico, de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, España. Andrés ha trabajado por más de veinticinco años en el sector eléctrico, en las empresas HVM Ingenieros, ISA, Électricité de France y XM. Ha sido docente e investigador en las Universidades EIA y Pontificia Bolivariana, enfocado en temas técnicos, económicos, sociales y ambientales que tienen que ver con la transición energética. Es correalizador del programa radial Energía pura. Aficionado a la cultura japonesa, el cultivo del bonsai, la práctica del chi kung y la meditación zen.

Capítulo 10

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Universidad EIA y a la Universidad Nacional de Colombia, a los directivos de las empresas e instituciones del sector eléctrico que aceptaron ser entrevistados, a los oráculos por esforzarse en provocar reflexiones disruptivas y a todas las personas que participaron en los talleres de los escenarios, cuyos aportes son el insumo fundamental de este libro. Asimismo, queremos agradecer muy especialmente a los colegas del proyecto 7 y a los investigadores de los otros proyectos de la Alianza Energética 2030 por propiciar un ambiente de colegaje que ha permitido construir una de las mayores comunidades de conocimiento del sector energético del país. Agradecemos además a los editores y diseñadores que hicieron posible comunicar en un lenguaje accesible asuntos técnicos que sin duda interesan a toda la comunidad.

Dedicamos este texto a nuestras familias y a los amigos, esa otra familia que escogemos.

PROYECTO

Estrategia de transformación del sector energético colombiano en el horizonte de 2030.

Financiado por la convocatoria 778 de Colciencias (Minciencias). Ecosistema Científico Contrato FP44842-210-2018.



Pares internacionales:



Universidad Zaragoza



Instituciones de Educación Superior aliadas:



Empresas aliadas:



Lideran:



ISBN: 978-958-53782-7-8

