SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

MEMORIAS DE LA AUDIENCIA PÚBLICA ORGANIZADA POR EL SENADO DE LA REPÚBLICA, 29 DE MAYO DE 2020

Serie Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales

IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA
GREGORIO ELJACH PACHECO (COMPILADORES)

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA
SENADO DE LA REPÚBLICA

SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

MEMORIAS DE LA AUDIENCIA PÚBLICA ORGANIZADA POR EL SENADO DE LA REPÚBLICA, 29 DE MAYO DE 2020

Serie Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación para construir bienes públicos esenciales

IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA
GREGORIO ELJACH PACHECO
(Compiladores)

CAEL
CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA
SENADO DE LA REPÚBLICA

SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

Memorias de la audiencia pública organizada por el Senado de la República, 29 de mayo de 2020

Serie Política Pública de Ciencia, Tecnología e innovación para Construir bienes públicos esenciales

EQUIPO EDITORIAL

IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA
GREGORIO ELJACH PACHECO
Compiladores

LUCIO MUÑOZ MENESES
Coordinador editorial

JULIÁN ANDRÉS ESCOBAR SOLANO
Editor

KÁTERIN APARICIO VELANDIA
JAIME ALBERTO CEPEDA TORRES
Asistencia editorial

DANIELA MONTOYA GUTIÉRREZ
VALENTINA ROJAS CAMPUZANO
JUAN SEBASTIÁN GONZÁLEZ FERNÁNDEZ
JUAN DIEGO RIAÑO GARZÓN
VANESA DÍAZ GÜIZA
Transcripción y corrección de estilo

VIVIANA ALEXANDRA VARGAS PINILLA
Diseño gráfico y de portada

ELKIN EDUARDO GALLEGO GIRALDO
KRISTIAN ORLANDO RÍOS CÓRDOBA
LAURA MELISA GÓMEZ GONZÁLEZ
MELBA TATIANA RAMÍREZ MARÍN
LAURA CAROLINA PÉREZ PUERTO
Organización y logística de las audiencias públicas

Agudelo Zapata, Iván Darío y Eljach Pacheco, Gregorio (compiladores)

Seguridad Energética Para Colombia. Memorias de la audiencia pública organizada por el Senado de la República, 29 de mayo de 2020 --- Serie Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación para Construir Bienes Públicos Esenciales / Iván Darío Agudelo Zapata, Gregorio Eljach Pacheco (Comp.) / Lucio Muñoz Meneses (Coordinación editorial) / Julián Andrés Escobar Solano (Editor) / Katerin Aparicio Velandia. Jaime Alberto Cepeda Torres (asistencia editorial) / Daniela Montoya Gutiérrez, Valentina Rojas Campuzano, Juan Sebastián González Fernández, Juan Diego Riaño Garzón, Vanesa Diaz Güiza, (Transcripción y corrección de estilo) / Viviana Alexandra Vargas Pinilla (Diseño gráfico y de portada) / Elkin Eduardo Gallego Giraldo, Kristian Orlando Ríos Córdoba, Laura Melisa Gómez González, Melba Tatiana Ramírez Marín, Laura Carolina Pérez Puerto (Organización y logística de las audiencias públicas)

298 págs.

ISBN: En trámite

1. Bienes públicos esenciales. **2**. Ciencia, tecnología e innovación. **3**. Seguridad energética en Colombia. **4**. Articulación Congreso-academia. **5**. Acciones legislativas en materia energética. **6**. Metas y acciones de política pública en materia energética. **7**. Política de petróleo y gas, Colombia. **8**. Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación. **9**. Centros de investigación en energía. **10**. Soberanía energética y biodiversidad. **11**. Mercado energético. **12**. Capacidades institucionales y producción energética. **13**. Experiencias sectoriales comparadas internacionales en seguridad energética. **14**. Infraestructura energética nacional. **15**. Matriz energética, Colombia. **16**. Experiencias internacionales exitosas en materia energética. **17**. Producción energética limpia. **18**. Energías renovables y capacidad instalada, Colombia. **19.** Redes de interconexión eléctrica, Colombia. **20**. Electricidad y matriz de producción eléctrica. **21**. Estudios de política pública comparada en materia de seguridad energética: Bélgica, Brasil, Colombia, Estados Unidos, España, Japón, Reino Unido, República de Corea, Chile.

I. IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA. **II**. LIDIO ARTURO GARCÍA TURBAY. **III**. GREGORIO ELJACH PACHECO. **IV**. ADRIANA OCAMPO. **V**. ANTONIA MARÍA FERNANDA SUÁREZ. **VI**. DIEGO MEZA PUYO. **VII**. JORGE ALBERTO VALENCIA MARÍN. **VIII**. FELIPE BAYÓN PARDO. **IX**. DANIEL GÓMEZ GAVIRIA. **X**. PEDRO BEJARANO SILVA. **XI**. LUIS JULIÁN ZULUAGA LÓPEZ. **XII**. MICHAEL POLLITT. **XIII**. KIYOHARU TADANAGA. **XIV**. HEON JUNG. **XV**. FEREIDOON SIOSHANSI. **XVI**. LJUBISA R. RADOVIC. **XVII**. JUAN PABLO CORREA-BAENA. **XVIII**. ARUNACHALA MADA KANNAN. **XIX**. MAGÍN LAPUERTA. **XX**. JOHN RAMIRO AGUDELO SANTAMARÍA. **XXI**. RICARDO RAINERI BERNAIN. **XXII**. GUILLERMO JIMÉNEZ-ESTÉVEZ. **XXIII**. RODRIGO PALMA-BEHNKE. **XXIV**. JESÚS FRANCISCO VARGAS BONILLA. **XXV**. STEF PROOST. **XXVI**. ÁNGELA WILKINSON. **XXVII**. EDMAR DE ALMEIDA. **XXVIII**. MAURICIO CÁRDENAS SANTAMARÍA. **XXIX**. AMYLKAR DAVID ACOSTA MEDINA. **XXX**. ORLANDO CABRALES SEGOVIA. **XXXI**. JORGE HERNÁN CÁRDENAS SANTAMARÍA. **XXXII**. JUAN MANUEL MOYA. **XXXIII**. ISAAC DYNER REZONZEW. **XXXIV**. TOMÁS GONZÁLEZ ESTRADA. **XXXV**. NATALIA GUTIÉRREZ JARAMILLO. **XXXVI**. JUAN BENAVIDES ESTÉVEZ-BRETÓN. **XXXVII**. ALEJANDRO CASTAÑEDA. **XXXVIII**. HORACIO TORRES SÁNCHEZ. **XXXIX**. LEONARDO RODRÍGUEZ URREGO. **XL**. NATALY CAROLINA ROSERO NAVARRO. **XLI**. RICHARD GREEN. **XLII**. ORLANDO AYALA LOZANO. **XLIII**. OMAR FREDY PRIAS CAICEDO. **XLIV**. JOSÉ CAMILO MANZUR JATTIN. **XLV**. DIANA MARCELA JIMÉNEZ. **XLVI**. FANOR MONDRAGÓN. **XLVII**. ÁNGELA INÉS CADENA MONROY. **XLVIII**. MÓNICA ESPINOSA VALDERRAMA. **XLIX**. LUCÍA ATEHORTÚA. **L.** NICANOR QUIJANO. **LI**. JOSÉ GERMÁN LÓPEZ QUINTERO. **LII**. FRANKLIN JARAMILLO ISAZA. **LIII**. ANDRÉS ADOLFO AMELL ARRIETA. **LIV**. OSWALDO LÓPEZ SANTOS. **LV.** MANUEL GARCÍA-PÉREZ. **LVI**. ANDRÉS DARÍO PANTOJA BUCHELI.

Primera edición. Noviembre de 2020

Compiladores: IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA Y GREGORIO ELJACH PACHECO

Coordinador editorial: LUCIO MUÑOZ MENESES

Editor: JULIÁN ANDRÉS ESCOBAR SOLANO

Asistencia editorial: KÁTERIN APARICIO VELANDIA, JAIME ALBERTO CEPEDA TORRES

Transcripción y corrección de estilo: DANIELA MONTOYA GUTIÉRREZ, VALENTINA ROJAS CAMPUZANO, JUAN SEBASTIÁN GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, JUAN DIEGO RIAÑO GARZÓN, VANESA DIAZ GÜIZA

Diseño gráfico y de portada: VIVIANA ALEXANDRA VARGAS PINILLA

Organización y logística de las audiencias públicas: LAURA MELISA GÓMEZ GONZÁLEZ, MELBA TATIANA RAMÍREZ MARÍN, LAURA CAROLINA PÉREZ PUERTO

Todos los derechos reservados para:

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ALTOS ESTUDIOS LEGISLATIVOS – SENADO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

Reconocido por Colciencias, a través de la Resolución 750 de 2018, como Centro de Conocimiento Legislativo

© IVÁN DARÍO AGUDELO ZAPATA
© LIDIO ARTURO GARCÍA TURBAY
© GREGORIO ELJACH PACHECO
© ADRIANA OCAMPO
© ANTONIA MARÍA FERNANDA SUÁREZ
© DIEGO MEZA PUYO
© JORGE ALBERTO VALENCIA MARÍN
© FELIPE BAYÓN PARDO
© DANIEL GÓMEZ GAVIRIA
© PEDRO BEJARANO SILVA
© LUIS JULIÁN ZULUAGA LÓPEZ
© MICHAEL POLLITT
© KIYOHARU TADANAGA
© HEON JUNG
© FEREIDOON SIOSHANSI
© LJUBISA R. RADOVIC
© JUAN PABLO CORREA-BAENA
© ARUNACHALA MADA KANNAN
© MAGÍN LAPUERTA
© JOHN RAMIRO AGUDELO SANTAMARÍA
© RICARDO RAINERI BERNAIN
© JESÚS FRANCISCO VARGAS BONILLA
© ÁNGELA WILKINSON
© EDMAR DE ALMEIDA
© MAURICIO CÁRDENAS SANTAMARÍA
© AMYLKAR DAVID ACOSTA MEDINA
© ISAAC DYNER REZONZEW
© ORLANDO CABRALES SEGOVIA
© JORGE HERNÁN CÁRDENAS SANTAMARÍA
© JUAN MANUEL MOYA
© TOMÁS GONZÁLEZ ESTRADA
© NATALIA GUTIÉRREZ JARAMILLO
© JUAN BENAVIDES ESTÉVEZ-BRETÓN
© ALEJANDRO CASTAÑEDA
© HORACIO TORRES SÁNCHEZ
© LEONARDO RODRÍGUEZ URREGO
© NATALY CAROLINA ROSERO NAVARRO
© RICHARD GREEN
© ORLANDO AYALA LOZANO
© OMAR FREDY PRIAS CAICEDO
© JOSÉ CAMILO MANZUR JATTIN
© DIANA MARCELA JIMÉNEZ
© FANOR MONDRAGÓN
© ÁNGELA INÉS CADENA MONROY
© MÓNICA ESPINOSA VALDERRAMA
© LUCÍA ATEHORTÚA
© NICANOR QUIJANO
© JOSÉ GERMÁN LÓPEZ QUINTERO
© FRANKLIN JARAMILLO ISAZA
© ANDRÉS ADOLFO AMELL ARRIETA
© OSWALDO LÓPEZ SANTOS
© MANUEL GARCÍA-PÉREZ
© ANDRÉS DARÍO PANTOJA BUCHELI

Dirección editorial:
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ALTOS ESTUDIOS LEGISLATIVOS (CAEL). SECRETARÍA GENERAL DEL SENADO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA

Correo electrónico: cael@senado.gov.co

Made in Colombia
Hecho en Colombia

"Las opiniones plasmadas en esta obra son de responsabilidad exclusiva del autor y no comprometen al Congreso de la República o al Centro de Investigaciones y Altos Estudios Legislativos, ni determinan su posición o filosofía institucional"

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida de manera alguna, ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o fotocopia, sin permiso escrito de la Secretaría General del Congreso de la República.

AGRADECIMIENTOS

Quiero primero que todo agradecer al presidente del Senado de la República, doctor Lidio Arturo García Turbay, quien puso toda su voluntad y empeño para ayudar en esta audiencia pública, y a la mesa directiva para que el evento saliera a la altura de nuestras expectativas.

Fue muy gratificante haber podido reunir a tantos colombianos y extranjeros amigos valiosos de Colombia, unidos en una sola causa, con compromiso de nación y desprendimiento hacia el país, y acompañados de muchos amigos de otros países que generosamente dieron tiempo para la preparación de sus intervenciones y esperaron pacientemente sus turnos. La audiencia pública ***"SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA"*** *reunió, sin temor a exagerar, a los mayores expertos nacionales en el tema y, debo decirlo con orgullo, a algunas de las mentes más brillantes que ha tenido Colombia en sus doscientos años de historia.*

Por esto, quiero dar las gracias a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales y a su presidente, el doctor Enrique Forero, por su apoyo y confianza en esta iniciativa. Igualmente, a todos los miembros de las comunidades académicas colombianas que acudieron a nuestro llamado para construir este proyecto de país.

Con los aportes de todos, hoy emprendemos un camino hacia la seguridad energética para Colombia. Sin duda se trata de un objetivo ambicioso, pero nuestros científicos hoy han dejado claro que el país cuenta con el talento y la capacidad para enfrentar los retos que se vienen de aquí en adelante. Contamos con una historia acumulada por todos los institutos, que nos servirán de base para avanzar hacia una producción nacional autónoma de medicamentos.

Este objetivo no es superfluo. Significa, en últimas, buscar garantías para que Colombia, en el mediano plazo, logre garantizar todas las fuentes de energía que requiere para su desarrollo, conservando el medio ambiente y la estabilidad de las comunidades que habitan todo el territorio nacional. Es una apuesta por no dejar exclusivamente en manos extranjeras o en manos del mercado la producción de bienes públicos esenciales. Pero es también una apuesta para creer en nuestra ciencia, buscando contar con una capacidad científica idónea para absorber el talento de muchos colombianos preparados, que nos permita hacer mejor ciencia y crear con ella una nueva industria en los diferentes campos que componen la matriz energética colombiana. Empezaremos a construir una nueva narrativa histórica a partir del contenido de todas las intervenciones de quienes nos acompañaron, y no duden de que estas memorias, que recogen sus planteamientos, nos servirán de insumo para avanzar en la puesta en marcha de la política pública en seguridad energética y en la formulación de proyectos de ley que nos sirvan para alcanzar los objetivos planteados.

Pero esta audiencia no habría podido realizarse sin la intervención de otras personas. Quiero agradecer en primer lugar a todo el equipo de mi unidad de trabajo legislativo, sin el que el proceso de convocatoria y organización de la audiencia habría sido imposible.

Igualmente, a los integrantes del equipo de Canal Congreso y de Planeación y Sistemas, quienes, con su esfuerzo, permitieron la transmisión en vivo de esta audiencia para toda la ciudadanía durante nueve horas consecutivas.

Finalmente, al equipo de CAEL, en cabeza del doctor Gregorio Eljach Pacheco, quien desde el principio nos brindó todo el apoyo que requeríamos para que la audiencia saliera a la altura de lo que requeríamos.

Muchas gracias a todos, y que todo lo que logremos sea por Colombia.

Iván Darío Agudelo Zapata

ÍNDICE

Ciencia, tecnología e innovación para la construcción de bienes públicos esenciales para la seguridad energética en Colombia. Una introducción al sentido de la audiencia pública 15

Iván Darío Agudelo Zapata

PRIMERA PARTE
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BIENES PÚBLICOS ESENCIALES EN MATERIA DE SEGURIDAD ENERGÉTICA. TEXTOS INTRODUCTORIOS

El sentido de la seguridad energética y la labor del Legislativo en su consecución 20
Lidio Arturo García Turbay

El rol institucional del CAEL como articulador del diálogo entre Congreso y academia 23
Gregorio Eljach Pacheco

Una apuesta por la ciencia como constructora de la sociedad en Colombia 27
Adriana Ocampo

SEGUNDA PARTE
LINEAMIENTOS DE LA POLÍTICA PÚBLICA NACIONAL PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EN COLOMBIA

Las transformaciones del sector energético en Colombia para alcanzar la seguridad energética: la visión del Ministerio de Minas y Energía 31
Antonia María Fernanda Suárez

Seguridad energética e hidrocarburos en Colombia 36
Diego Meza Puyo

La búsqueda de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos en Colombia: un aspecto clave de la seguridad energética 39
Jorge Alberto Valencia Marín

El papel de Ecopetrol en la seguridad energética 42
Felipe Bayón Pardo

Intervención del Departamento Nacional de Planeación en la audiencia de seguridad energética 46
Daniel Gómez Gaviria

La Colombia no interconectada 51
Pedro Bejarano Silva

Los pilares de la política de seguridad energética en Colombia 54
Luis Julián Zuluaga López

TERCERA PARTE
EXPERIENCIAS Y LECCIONES INTERNACIONALES SOBRE SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

The key to energy security in Colombia in the short and medium term 57
Michael Pollitt

Message from Japan on energy researches 60
Kiyoharu Tadanaga

Recommendations on establishment of national energy institute in Colombia 63
Heon Jung

El papel de la electricidad en el futuro de la seguridad energética 66
Fereidoon Sioshansi

Carborrefinería integral e integrada: aprovechando el pasado para asegurar el futuro 69
Ljubisa R. Radovic

La experiencia en investigación en los Estados Unidos como marco para el desarrollo de la seguridad energética en Colombia 72
Juan Pablo Correa-Baena

Integración de energías renovables a la matriz energética de Colombia: algunos modelos aplicados en otras partes del mundo 75
Arunachala Mada Kannan

El marco energético europeo y español respecto a Colombia: algunos elementos comparativos 78
Magín Lapuerta
John Ramiro Agudelo Santamaría

Seguridad energética: desafíos y oportunidades 83
Ricardo Raineri Bernain

Investigación en energía, aprendizaje de Chile y lecciones y desafíos para Colombia 88

Guillermo Jiménez-Estévez
Rodrigo Palma-Behnke

Seguridad energética para Colombia. Contexto de Latinoamérica y el Caribe 93
Jesús Francisco Vargas Bonilla

CUARTA PARTE
POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO DE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EN COLOMBIA

Energy priorities for Colombia 97
Stef Proost

El Consejo Mundial de Energía: hallazgos y recomendaciones para Colombia 99
Ángela Wilkinson

Retos para la seguridad energética en Colombia 102
Edmar de Almeida

La intersección entre la agenda de investigación en los temas energéticos y la coyuntura actual caracterizada por los efectos del covid-19 107
Mauricio Cárdenas Santamaría

La seguridad energética y la dependencia del petróleo en Colombia 112
Amylkar David Acosta Medina

La seguridad energética y el papel del gas natural en Colombia 115
Orlando Cabrales Segovia

Hacia la seguridad y autosuficiencia energética en el sector del gas en Colombia 118
Jorge Hernán Cárdenas Santamaría
Juan Manuel Moya

El papel de la energía eléctrica en la seguridad energética para Colombia 133
Isaac Dyner Rezonzew

Los objetivos de la política de seguridad energética para Colombia 135
Tomás González Estrada

La competitividad del sector energético colombiano 138
Natalia Gutiérrez Jaramillo

Planificación de un portafolio balanceado de recursos para alcanzar la resiliencia energética en Colombia 141
Juan Benavides Estévez-Bretón.

La matriz energética colombiana y su relación entre energías renovables y no 144

renovables
Alejandro Castañeda

Aspectos para lograr la seguridad energética en Colombia 146
Horacio Torres Sánchez

Energía en Colombia: análisis del panorama energético actual y utópico a 2050 149
Leonardo Rodríguez Urrego

Directrices para temas potenciales en el desarrollo de sistemas energéticos eficientes 155
Nataly Carolina Rosero Navarro

QUINTA PARTE
CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES EN INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

Energy security for Colombia 159
Richard Green

La visión de la seguridad energética desde la Misión de Sabios 163
Orlando Ayala Lozano

Construcción de capacidades I+D+I para consolidar la seguridad energética en Colombia. 166
Omar Fredy Prias Caicedo

El papel de la ciencia, la tecnología y la innovación en la seguridad energética 169
José Camilo Manzur Jattin.

Ecosistemas de innovación. Grupo ENEL y el impulso para la ciencia, la tecnología y la innovación 173
Diana Marcela Jiménez

La necesidad de un instituto nacional de energía para Colombia 177
Fanor Mondragón

La movilidad eléctrica: una estrategia desde la academia para la reactivación económica 179
Ángela Inés Cadena Monroy
Mónica Espinosa Valderrama

La biodiversidad de Colombia como una fuente alternativa de biocombustibles 186
Lucía Atehortúa

Integración de sistemas energéticos y formación de alto nivel
Nicanor Quijano

Podemos estar preparados 195
José Germán López Quintero

Investigación para la diversificación de la matriz energética colombiana 199
Franklin Jaramillo Isaza

La pertinencia de la investigación y el desarrollo tecnológico en combustión avanzada en un instituto nacional de investigación en energía 202
Andrés Adolfo Amell Arrieta

Soluciones energéticas basadas en energías renovables para el acceso a la tecnología en zonas aisladas rurales 205
Oswaldo López Santos

La pertinencia de crear un instituto de energía en Colombia 208
Manuel García-Pérez

Proyectos locales en desarrollo energético. Caso de estudio 212
Andrés Darío Pantoja Bucheli

SEXTA PARTE
CONCLUSIONES DE LA AUDIENCIA PÚBLICA "SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA"

Panel de cierre 216

AUDIENCIA PÚBLICA "SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA"
Iván Darío Agudelo Zapata
Juan Benavides Estévez-Bretón
Ángela Inés Cadena Monroy
Amylkar David Acosta Medina

Conclusiones. Hacia la seguridad energética para Colombia en el marco de la propuesta "Hacia una suficiencia farmacológica, alimentaria y energética", liderada por el senador Iván Darío Agudelo Zapata 222
Ángela Inés Cadena Monroy

Ciencia, tecnología e innovación para la construcción de bienes públicos esenciales para la seguridad energética en Colombia. Una introducción al sentido de la audiencia pública

Iván Darío Agudelo Zapata

Senador de la República 2018-2022. Representante a la Cámara por Antioquia en los períodos 2010-2014 y 2014-2018. Anteriormente fue diputado de la Asamblea de Antioquia 2008-2009, siendo presidente de la misma, y vicepresidente de la Federación Nacional de Diputados.

Se destaca su trabajo legislativo en pro de la ciencia, la tecnología y la innovación, siendo autor y ponente de importantes leyes, como la que crea el Ministerio de Ciencia; la Ley Spin off*, que permite la creación de empresas basadas en el conocimiento; ponente coordinador de la Ley que restablece la enseñanza obligatoria de la historia, y autor de la reciente Ley de amnistía de multas de tránsito, así como de las proposiciones que han logrado mantener recursos para la educación pública en materia de regalías, siendo la más reciente la que se incorporó en la Ley 2056 de 2020, que establece que el 5 % de las regalías de asignación directa deben ser destinadas a las IES públicas para mejorar infraestructura, cobertura y calidad, lo que le ha valido el reconocimiento por el portal La Silla Vacía como uno de los "imprescindibles" de la ciencia en Colombia, y recientemente reconocido como miembro de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la categoría Amigo de la Academia, siendo el primer político en tener tal dignidad.*

La realización de audiencias públicas es uno de los mecanismos más importantes de articulación y diálogo con los que cuenta hoy el sistema político colombiano. Permite reunir en un solo lugar a los tomadores de decisión, miembros destacados de la sociedad civil, académicos, gremios y legisladores en torno a problemáticas que requieren ya sea regulación o control político. La audiencia pública es la puesta en escena en nuestro mundo político de la democracia participativa y deliberativa en su más pura acepción.

Por esto, desde el trabajo legislativo que he venido realizando en los últimos años he comenzado a impulsar una serie de audiencias que tengan mayor impacto y relevancia que las tradicionales. Primero, convocando a los mejores expertos disponibles sobre una temática determinada, y segundo, ampliando los canales de difusión para que llegue a la mayor cantidad de ciudadanos posibles.

El pasado 8 de mayo tuvimos la oportunidad de plantearle al país una nueva narrativa para la salud de los colombianos, e iniciamos el camino hacia una seguridad farmacéutica. Revisando algunas lecciones que viene dejando esta experiencia del coronavirus y la historia reciente, es necesario recordar cuando el país era el productor de sus propias vacunas y se logró erradicar la viruela, pero luego, al debilitar el Instituto Nacional de Salud, se desvanecieron esas capacidades y pasamos a depender de las importaciones.

En esta ocasión, hemos convocado a nuestros científicos, expertos internacionales, gremios, representantes del Gobierno nacional y al Senado de la República a que establezcamos un nuevo camino para nuestra seguridad energética. A ellos, nuestra gratitud por compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias.

En la actualidad, todos los países dependen de la energía, que, de llegar a faltarnos, llevaría a que nuestra sociedad esté gravemente expuesta. Este año, cuando la pandemia del coronavirus sigue sin ser controlada, los embalses registraron mínimos históricos, poniéndonos en riesgo de desabastecimiento energético, lo cual se viene presentando con cierta regularidad y se seguirá presentando conforme los efectos del fenómeno del Niño se intensifiquen.

Nuestro suministro energético no puede depender de las dinámicas del mercado, del clima cambiante o de la producción de otros países. Lo esencial es invertir en conocimiento para contar con la capacidad de generar nuestra propia energía. Estamos convencidos de la necesidad de una mayor inversión económica para la generación de esta ciencia propia, cuyo beneficio posterior será superior a lo invertido, llevando al país a un mayor desarrollo económico y generando empleo, calidad de vida y autonomía. Para ello, es necesario lograr consensos en medio de las diferencias, construyendo desde ellas para generar el debate de manera respetuosa y avanzando en lo que nos identifica.

Lo que nos identifica hoy es la posibilidad de construir y encontrar puntos de confluencia sobre lo que hemos llamado bienes públicos esenciales. Este segundo volumen de la serie, que también aborda la seguridad farmacéutica y alimentaria, se concentra en el problema de la seguridad energética, aspectos esenciales en esta nueva realidad. Citando una bella frase de *El Principito*, "lo esencial es invisible a los ojos", les propongo que cambiemos un poco esta frase, diciendo que "lo esencial sea visible a los ojos". La nación precisa unidad en torno a lo esencial; como dijo Steve Jobs, nosotros "debemos unir los puntos"; Colombia lo necesita, lo espera.

Afuera nadie nos da espera ni ventajas. Cada uno tiene que crear sus propias capacidades. Por eso debemos avanzar en estos tres grandes temas de transformación del país. No podemos quedar atrapados en una visión de corto plazo, sino que debemos emprender el camino de contar con nuestras propias capacidades científicas, aprovechando nuestra riqueza en recursos naturales. Es tiempo de avanzar hacia este gran propósito de país, conscientes de que nuestra energía debe provenir de fuentes limpias y variadas, y de que nuestro desarrollo no puede darse a costa de alterar el clima del planeta ni de contaminar nuestro aire y nuestras aguas.

Invito al país a que nos acompañe a soñar con un mejor futuro, con institutos de producción de ciencia y con universidades fortalecidas para crear con ello la tecnología que nos conduzca hacia una seguridad energética limpia e incluyente. No me queda sino darles gracias a Dios y a la vida por permitirme ser senador de la República de Colombia y saber que tengo el compromiso de ayudar a escribir esta nueva historia y narrativa de Colombia y generar consensos sobre lo esencial.

El presente documento recoge las diferentes intervenciones que se realizaron de manera no presencial en vivo y en directo el 29 de mayo en la audiencia convocada por el Senado de la República. Estoy seguro de que las diversas intervenciones se constituirán en un valioso insumo para avanzar en la construcción de la política pública de ciencia, tecnología e innovación que requiere Colombia para lograr suficiencia y desarrollo económico, generación de empleo y soberanía en sus capacidades estratégicas.

Reconozco en cada una de las personas que intervinieron en la audiencia su experiencia, su conocimiento y su deseo de luchar por la transformación de nuestra nación. Estas memorias son el producto del esfuerzo de conferencistas y equipos del Congreso y del Centro de Investigaciones y Altos Estudios Legislativos (CAEL) por preservar los aportes de todos y cada uno de los participantes en la audiencia. Esperamos que sirva de insumo base para avanzar en la formulación de esta política pública y en la presentación de los proyectos de ley que sean necesarios para lograr nuestro objetivo. Y tengan la seguridad de que, a pesar de los obstáculos que sabemos encontraremos en el camino, no nos detendremos.

Estas memorias están compuestas por todas y cada una de las intervenciones realizadas por los panelistas que participaron en la audiencia. Al respecto, es necesario hacer dos apreciaciones metodológicas. La primera es que algunos panelistas entregaron una memoria escrita, la cual fue integrada a este texto de forma integral, salvo algunas correcciones de estilo. A otro grupo de panelistas les fue transcrita, adecuada y adaptada a esta memoria la intervención realizada, cuidando al máximo las ideas planteadas en las intervenciones.

La segunda apreciación metodológica es que estas memorias no siguen el orden cronológico de las intervenciones realizadas el día de la audiencia, sino que fueron clasificadas en grandes grupos temáticos de acuerdo al énfasis que realizó cada uno de los panelistas en su intervención y con el fin de facilitar al lector su comprensión y asimilación.

En ese sentido, el documento se dividió en seis grandes partes. La primera parte, denominada **"Ciencia, tecnología e innovación para la construcción de bienes públicos esenciales en materia de seguridad energética. Textos introductorios",** recoge las apreciaciones específicas que permiten la articulación entre el Congreso de la República y los cuerpos académicos como mecanismo base para la construcción de una legislación específica sobre bienes esenciales y seguridad energética en Colombia.

La segunda parte, **"Lineamientos de la política pública nacional para alcanzar la seguridad energética en Colombia"**, recoge los planteamientos realizados por cada una de las entidades invitadas en cabeza de la ministra de Minas y Energía, que trazaron su visión de política pública para la construcción de la seguridad energética en Colombia. Se contó con la participación del Departamento Nacional de Planeación y Ecopetrol, entre otros.

La tercera parte, "**Experiencias y lecciones internacionales sobre seguridad energética para Colombia",** agrupa las intervenciones de diferentes académicos y expertos en energía de nueve países, quienes analizaron, desde su experiencia, mejoras concretas que se pueden implementar en Colombia. Resalta entre las propuestas la necesidad de crear un instituto nacional de energía, que sirva como coordinador interinstitucional de todos los esfuerzos nacionales.

La cuarta parte, "**Políticas para el desarrollo de la seguridad energética en Colombia",** recoge aquellas intervenciones que enfatizan en el problema de la definición de políticas públicas que pueden permitir en el horizonte del corto, el mediano y el largo plazo la capacidad institucional para mejorar la seguridad energética en Colombia.

La quinta parte, **"Construcción de capacidades en investigación, innovación y desarrollo para la construcción de la seguridad energética"**, se centra en los panelistas que presentaron los desarrollos investigativos desde la ciencia básica y aplicada

como motor fundamental para la transformación de la matriz energética colombiana, permitiendo el tránsito de energías no renovables a energías renovables.

Finalmente, la sexta parte, **Conclusiones de la audiencia pública "Seguridad energética para Colombia"**, se divide en dos partes: la primera, el panel final de discusiones, moderado por mí y que contó con la participación de Juan Benavides, Ángela Cadena y Amylcar Acosta, y permitió recopilar de la mejor forma posible todos los planteamientos, teorías y propuestas presentadas a lo largo del evento. La segunda parte es el documento de conclusiones, "Hacia la seguridad energética para Colombia en el marco de la propuesta hacia una suficiencia farmacológica, alimentaria y energética", elaborado por la doctora Ángela Cadena, que permitió construir un estado del arte sobre la investigación y el desarrollo en materia de energía en Colombia.

Este es un inicio para que todos los sectores del Estado y la sociedad comiencen el camino para la construcción de un ecosistema científico y de investigación ligado a la empresa privada y a las grandes redes globales del conocimiento, que nos permita construir seguridad energética. Colombia no nos juzgará por lo que hicimos, sino que nos condenará por lo que dejamos de hacer.

PRIMERA PARTE

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BIENES PÚBLICOS ESENCIALES EN MATERIA DE SEGURIDAD ENERGÉTICA. TEXTOS INTRODUCTORIOS

El sentido de la seguridad energética y la labor del Legislativo en su consecución

Lidio Arturo García Turbay

Nació el 10 de febrero de 1971 en el municipio de Carmen de Bolívar. Comunicador social, se ha destacado por ser un líder en gestiones políticas, sociales y culturales, tanto en su municipio como en todo el departamento de Bolívar.

En su municipio natal fue elegido concejal en 1995. Para 2000, fue elegido diputado de la Asamblea de Bolívar por el Partido Liberal. En 2003 fue reelegido con una masiva votación, y en 2006 presentó su renuncia para aspirar a la Cámara de Representantes, de donde, después de un cuatrienio, pasó al Senado de la República, donde ha ocupado una curul por el Partido Liberal por dos periodos (2010-2014 y 2014-2018). Se desempeñó como presidente del Senado en el periodo 2019-2020.

Para mí es un honor, como presidente del Senado la República, poder estar hoy en esta audiencia pública no presencial o virtual, acogiendo a las necesidades que nos presenta el mundo y la vida con esta pandemia, aprovechando nuestros tiempos y la invitación del señor Iván Darío Agudelo y del CAEL que dirige nuestro secretario, doctor Gregorio. Para mí es un honor presidir el Senado de la República y hacer posible también este tipo de audiencias con los colegas que dedican todo este tiempo para poder enviar un mensaje a Colombia y al mundo y buscar soluciones prontas.

Gracias por atender a esta convocatoria que, a instancias del senador Iván Darío Agudelo, y con el acompañamiento del Centro de Altos Estudios Legislativos (CAEL), que dirige nuestro secretario del Senado la República, y la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, coincide con un momento crucial de la economía nacional. Hemos querido generar este escenario para dialogar porque, a pesar de las lecciones de emergencia que nos han llegado, seguimos teniendo grandes amenazas. Hace 28 años, ustedes bien lo saben, vivimos una crisis eléctrica sin precedentes, con racionamientos de 9, de 12 y hasta de 18 horas en todas nuestras ciudades en Colombia. En aquella época, el fenómeno del Niño dejó casi vacíos los embalses de las centrales hidroeléctricas en el país y tuvimos que esperar 1800 aguaceros de gran volumen de precipitaciones para volver a llenarlos. Los cálculos que se hicieron en la época determinaron un costo equivalente a un punto y medio del PIB, es decir, vale la pena decirlo, casi doce billones de pesos.

Desde entonces, el fenómeno del Niño se ha presentado en cuatro décadas. En 2015 se repitió la historia de 1992, aunque con repercusiones menos graves en la oferta de la energía, y entre una y otra coyuntura entre 1992 y 2015 hubo un detonante común, y eso quiere expresarse hoy en la drástica reducción en el volumen de las lluvias como consecuencia de las sequías.

Durante la última estuvimos preparados, pero la respuesta tuvo el mismo problema, o sea la alta dependencia de hidroelectricidad. Hoy, el fenómeno del Niño ha vuelto, y aunque el Gobierno nacional ha dicho que no hay riesgo de apagón, las reservas hídricas de los embalses son en algunos casos las peores en veinte años. Y aquí hay expertos y un grupo selecto de personas que conocen toda esta problemática que estamos viendo en Colombia y en el mundo; todo esto es natural, y su impacto va a depender de qué tanto estemos preparados.

Revisando las cifras de la capacidad instalada del sistema eléctrico nacional, esta es de 14.500 megavatios, 63 % producidos en las centrales hidroeléctricas y 29,3 % por estas plantas térmicas. Las centrales que usan un energético para convertir el agua en vapor son el seguro de nuestro sistema, pero seguir construyendo las monumentales centrales que interrumpen las corrientes de los ríos implica mantener un riesgo muy alto y debemos revertirlo para asegurar la atención en una demanda que, a 2040, crecerá en un 110,3 %, según lo dice el Banco Interamericano de Desarrollo.

Los recursos de las térmicas son fundamentalmente de costos de producción y tienen gran sostenibilidad ambiental, pero el deber de Colombia es velar que la economía del país sea cada vez más amigable con el medio ambiente. En esta dirección estamos todos comprometidos con los "Objetivos de Desarrollo Sostenible" en el sentido de garantizar modalidades de consumo y producción que no contaminen ni degraden, pero no podemos asumir el desarrollo como una apuesta por naturaleza violenta, sino como un proceso conciliador. Es preciso alentar equilibrios que nos permitan atender y promover un contenido, reducir la desigualdad, realizar inversiones importantes en la infraestructura y poner fin a la pobreza.

El sector energético es muy sensible a estos propósitos. Por ello, es necesario, además, revisar la estructura del negocio, y hoy celebro este tipo de audiencias porque es importante que podamos hacerlo y expresarnos ante ella. Yo tuve la bonita oportunidad de pertenecer a la Comisión Quinta por tres períodos en el Congreso en la República y, no siendo un experto en los temas minero-energéticos, aprendí con los expertos que citamos, pues nos brindaron grandes ideas, aportaron mucho al país y pudimos avanzar un poco más; por eso, hoy tenemos un mejor marco regulatorio y una buena capacidad instalada.

El sector eléctrico se caracteriza por la baja competitividad en el mercado mayorista de la energía eléctrica y por los altos precios debido a reducciones de las cantidades ofrecidas en condiciones de estrechez de oferta. Es una queja de las distribuidoras y de las comercializadoras que el riesgo lo asumen ellos, pero hay que reiterar que algunas empresas les deben respeto a los usuarios porque la historia triste de abusos, apagones y sobreprecios de Electricaribe en mi región, que aquí en la costa Caribe colombiana lo vivimos alrededor de once (casi doce) millones de colombianos, los cuales esperamos que hoy, con la llegada de los nuevos oferentes, no se repitan jamás, no solamente en la costa, sino en Colombia. Eso fue prácticamente un atraco que nos hicieron a todo el Caribe colombiano prestando un servicio no solo malo, sino también el más costoso y el de más malas prácticas.

A propósito, una buena parte del país se está quejando. Se quejan de las cargas excesivas en los recibos, de que se gravan inclusive los locales comerciales que están cerrados y de que les viene el recibo como un mismo costo, como si estuvieran abiertos. Por eso, quiero pedir formalmente a las autoridades nacionales que ordenen una investigación a la facturación en todo el país, pues sería una agresión compensar con precios la baja demanda que evidentemente han tenido durante la emergencia por el covid-19.

Pero, más allá de todo esto, debemos aprovechar este foro para hablar de la transición de nuestro modelo energético a fuentes más sostenibles, y del aporte de las energías alternativas a nuestra canasta de consumo, aclarando que el potencial que tenemos en fuentes eólicas y solares es muy bajo.

Finalmente, aprovecho esta audiencia para hacer un llamado a los grandes inversionistas de energía en el mundo y a las grandes multinacionales, y decirles que las puertas están abiertas para todos. Este es un gran país para la generación de energía; si aumentamos la capacidad de generación térmica y le sumamos las energías renovables del sol y el viento, e incluso el recurso de la tierra, podremos, doctor Iván Darío Agudelo, alcanzar la seguridad de autosuficiencia energética que tanto necesitamos en Colombia.

El rol institucional del CAEL como articulador del diálogo entre Congreso y academia

Gregorio Eljach Pacheco

Nació en Fusagasugá. Estudió Derecho en la Universidad del Cauca, con especializaciones en Gestión de Entidades Territoriales, Derecho Público, Derecho Constitucional Parlamentario y Derecho Urbano en la Universidad Externado de Colombia, institución en la que también terminó estudios de maestría en Gobierno Municipal. Actualmente cursa estudios de doctorado en Derecho en la Universidad de Buenos Aires.

Ha sido docente catedrático en diferentes universidades. En su labor pública fue secretario de la Comisión de Seguimiento del Senado de la República.

Se ha desempeñado como secretario general del Senado desde 2012. Ha sido un impulsor de las políticas de transparencia de la institución, y en su gestión se resalta la puesta en marcha del Centro de Investigaciones y Altos Estudios legislativos (CAEL) del Senado de la República.

Existe un error muy común en la percepción cotidiana que tenemos los ciudadanos sobre la política, y es que este campo de la experiencia humana se mantiene separado de la ciencia y la técnica a la hora de tomar decisiones fundamentales por parte del Estado. Desafortunadamente, en muchas ocasiones esta percepción está fundada en muchos elementos fácticos que permiten entenderlo de esta forma. Sin embargo, el hecho de que algunos tomadores de decisiones no sustenten su accionar en la evidencia y datos obtenidos por el mundo de la investigación académica y científica, no quiere decir que este sea el ideal. En un mundo global cada vez más cambiante y complejo, la necesidad de establecer diálogos fluidos entre el mundo político y el mundo científico se vuelve cada vez más apremiante.

La serie de audiencias públicas a la que hemos sido invitados a acompañar en su organización por el honorable senador Iván Darío Agudelo y su equipo, y de las que hace parte este volumen sobre seguridad energética, son el reflejo de lo que ocurre cuando los líderes políticos deciden emprender el camino de la construcción de nuevas leyes y políticas públicas en un diálogo fluido y con el acompañamiento de las comunidades académicas. Permite, en últimas, encontrar la línea de aproximación más plausible entre el mundo de lo deseable, el mundo de las ideas, y el mundo de la praxis, el de las decisiones reales que se toman en el Estado a través del diseño y ejecución de las políticas públicas.

El Centro de Investigaciones y Altos Estudios Legislativos (CAEL), adscrito a la Secretaría General del Senado de la República, fue pensado en últimas como un escenario para facilitar este tipo de encuentros. De ahí que, ante la convocatoria realizada, el grado de compromiso para su realización y réplica ha sido completo.

La órbita ética del centro desde su fundación ha sido la de propiciar el acercamiento entre la actividad legislativa y política, por un lado, y la actividad científica y académica, por el otro. Durante los últimos cinco años, el Centro ha desarrollado un ecosistema de difusión, formación y acompañamiento desde y para el Congreso de la República a través de una amplia red de universidades e investigadores, alcanzando una masa crítica importante de usuarios y actividades.

Hoy ponemos toda nuestra experiencia y vocación de servicio en esta actividad, que hace parte de una serie de audiencias públicas que se preguntan por el rol que el Estado, la ciencia y la sociedad deben jugar para superar la crisis provocada por la pandemia.

El papel de los legislativos en el mundo entero ha sido puesto en entredicho por causa de la pandemia. La necesidad de una rápida acción ejecutiva se ha sumado a una aparente falta de reacción de los órganos legislativos y parlamentarios, percepción que muchas veces ha sido reforzada por notas de prensa difundidas por los medios de comunicación que no han sabido poner en perspectiva el trabajo que se viene adelantando. Más allá de las debilidades, el Congreso de Colombia nos ha puesto en la ruta de un proceso sistemático de modernización de todas nuestras estructuras institucionales y también nos ha permitido medir como fortaleza la capacidad que se tiene de contar con un centro que esté presente siempre que sea requerido en las actividades de la labor legislativa apoyada con la investigación, la ciencia y la academia para la elaboración de leyes, procesos de reforma a la Constitución o para las tareas de control político.

En esta audiencia pública, de la cual ustedes dan fe en estas memorias, confluyeron distintas dimensiones de la acción pública: por un lado, la ciencia y la técnica, con sus saberes destinados a la comprensión de la realidad compleja que vivimos y de la prospectiva de escenarios a futuro para nuestro país, se puso al servicio del instrumento

de control político que constitucionalmente se encuentra definido en la Constitución Política como parte de la actividad congresional.

Por otro lado, las instituciones de las diferentes ramas del Estado, en cabeza de la ministra de Minas y Energía, empresas líderes del sector como Ecopetrol o entidades técnicas especializadas como la Unidad de Planeación Minero-Energética, se presentaron con el ánimo de entablar un diálogo respetuoso y constructivo con sus pares de la rama Legislativa, no con ánimo vindicativo, sino precisamente haciendo honor al principio de colaboración armónica entre las ramas del poder público para la realización de las metas del Estado social de derecho.

Finalmente, como una tercera arista, el sector académico y científico, en cabeza de las principales universidades e institutos de investigación nacional, se unieron a esta causa con miembros de las comunidades científicas y académicas de ocho países, y compartieron sus ideas y propuestas junto con los representantes del sector energético, quienes dieron a su vez su visión desde la construcción de empresa, en un diálogo que es igualmente extraño en el contexto nacional. En resumen: el Ejecutivo, el Legislativo, la comunidad académica nacional e internacional y el sector real, se unieron en un diálogo constructivo para encontrar las salidas que permitan en el mediano plazo asegurar la seguridad energética de nuestro país.

Por esto, uno de los logros que queremos obtener en el corto plazo es avanzar en una integración real de la producción académica orientada a la elaboración y discusión de proyectos de ley y de actos legislativos, así como de las demás funciones de control político. Una academia al servicio de la democracia y, por extensión, al servicio de las causas que demandan nuestros ciudadanos, para construir una Colombia grande, próspera y en paz.

En nombre de la Secretaría General y de todo el equipo de CAEL, quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible la realización de esta audiencia pública de carácter internacional, organizada en esta coyuntura crítica por el honorable senador Iván Darío Agudelo Zapata, a quien dedico estas palabras de reconocimiento por soñar con este evento que nos permitió contar con algunos de los mayores expertos a nivel nacional y mundial.

El senador Agudelo ha sido un pionero de la legislación para promover la investigación científica y los temas de la educación y la difusión de la ciencia y su inclusión en el desarrollo de políticas públicas, tanto en su paso como representante a la Cámara como en su actual labor como senador, donde logró impulsar la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Igualmente, quiero resaltar el apoyo decidido de nuestro presidente, el honorable senador Lidio García Turbay, quien en todo momento brindó su colaboración decidida para la realización de esta actividad de índole política, técnica y científica, poniendo al servicio del estudio de la problemática que nos convoca toda la capacidad instalada disponible del Senado de la República y acompañando él mismo en el desarrollo de la audiencia.

Quiero finalmente agradecer al equipo de CAEL, que ha puesto empeño y sacrifico en el desarrollo de la audiencia. El trabajo del Centro se ha caracterizado por la humildad y por evitar el protagonismo, conscientes de que solo somos un instrumento para hacer cada día del Congreso de la República una mejor institución para nuestra democracia. En mi calidad de director del Centro, cargo en el que en realidad solo coordino el trabajo de estos hombres y mujeres comprometidos con la democracia y convencidos de la necesidad de un legislativo fortalecido que canalice el sentir de la ciudadanía que los eligió, reafirmo nuestro

compromiso y disposición para sacar adelante las actividades que vengan de aquí en adelante.

Una apuesta por la ciencia como constructora de la sociedad en Colombia

Adriana Ocampo

Geóloga planetaria colombiana, ejecutiva líder del programa Nuevas Fronteras de la Agencia Espacial de los Estados Unidos (NASA). Fue condecorada en 2018 por el Congreso de la República de Colombia por su destacado papel en la ciencia y la tecnología. Obtuvo su título de geóloga en la Universidad Estatal de California, la maestría en Geología Planetaria en la Universidad del estado de California y el doctorado en Geología de la Universidad Libre de Ámsterdam. Es investigadora senior de la Agencia Espacial Europea desde 2002 e investigadora en el Instituto de Tecnología de California y en el laboratorio de retropropulsión de la NASA para exploración del sistema solar. En 1998 fue seleccionada como ejecutiva de programa para trabajar en la oficina directiva de la NASA en Washington.

Muchísimas gracias por esta oportunidad. Quiero empezar saludando y agradeciendo la gentil invitación del señor senador Agudelo, y aplaudiendo su liderazgo en la ciencia como gran campeón, en compañía de la Academia de Ciencias, y saludando muy afectuosamente a todos los distinguidos participantes en este evento.

Bueno, qué puede decir una barranquillera y científica planetaria sobre la seguridad energética. Quisiera empezar hablando de una sociedad en la cual la ciencia tiene un lugar importante, es valorada y respetada. Esta es una sociedad que toma conciencia de la importancia de las ciencias, de su influencia en aspectos como la salud, los recursos alimenticios y energéticos, la conservación del medio ambiente, el transporte, la investigación básica y los medios de comunicación.

Esta es una sociedad en la cual todas estas condiciones mejoran la calidad de vida del ser humano. Gracias a esa inversión para el avance del conocimiento humano, esta es una sociedad sabia, que sobrevivirá a todo el reto. La ciencia es el mejor seguro que tiene la humanidad, pero tiene que ser una ciencia ética con una moral irrefutable, con visión y con el propósito primordial de ser efectuada en beneficio de todos, para que así se dé una humanidad inclusiva, bondadosa e inteligente.

La ciencia nos rodea y es parte de nuestro día a día, es algo que damos por sentado, e incluso muchas veces no reconocemos su importancia. Por ejemplo, tenemos que recordar que somos seres espaciales, que vivimos en un medio cósmico y que nuestro planeta viaja a una velocidad de más de 100.000 kilómetros por hora alrededor del Sol y nosotros somos sus tripulantes. En nuestro día a día nos olvidamos de que somos parte de algo más grande y maravilloso, que vivimos en un extraordinario sistema solar y en un universo que está en constante movimiento y desarrollo.

La palabra *ciencia* viene del latín y significa conocimiento, conocimiento no solo para investigar nuestro entorno, sino también para conocernos mejor como especie. Como científica planetaria, nos enseñan a ver las cosas con perspectivas amplias, sin límites o divisiones, y a entender las condiciones e interdependencias de lo micro a lo macro y viceversa. Esas interdependencias se expanden no solo a una casa, a una comunidad, a una región, a una ciudad o un país, sino a todo el planeta, y de allí al universo. De esta forma, la ciencia abre los ojos del *Homo sapiens* para tener una visión más humanitaria y sabia; la ciencia nos ayuda a madurar como especie.

En esta búsqueda de la verdad que identifica a la ciencia, esta busca lo factual y verificable. En la ciencia no hay lugar para fantasías sin datos, pero sí hay lugar para que la imaginación de nuevas ideas y soluciones se dé. Estamos viviendo una época extraordinaria, y la ciencia encontrará la solución, la cual ha venido, y vendrá, de la forma menos esperada. Volviendo a la temática de la energía, es importante recordar que, por ejemplo, la tecnología solar se ha desarrollado quizá de una forma no esperada, pero sí de una forma más eficiente, gracias a los resultados de la construcción de los paneles solares para naves espaciales.

Hoy estamos explorando, con la misión robótica Juno, el planeta más grande de nuestro sistema solar. ¿Por qué? ¿Qué beneficios nos puede brindar? Les digo que Júpiter tiene una fuente de energía casi interminable dado que emite más luz de la que recibe, y si llegáramos a descifrar su fuente energética, esto proveería una solución, quizá de una fuente inesperada como es la exploración espacial, pero muy importante para nuestro planeta, y de ahí la importancia de la investigación. No siempre se pueden predecir los resultados que darán. La ciencia debe tener lugar para estudiar libremente todos los campos científicos, porque nunca se pueden predecir sus beneficios ni resultados; por eso, hoy y siempre apostémosle a la ciencia y a nuestra especie, porque juntos lo podemos todo.

SEGUNDA PARTE

LINEAMIENTOS DE LA POLITICA PÚBLICA NACIONAL PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EN COLOMBIA

Las transformaciones del sector energético en Colombia para alcanzar la seguridad energética: la visión del Ministerio de Minas y Energía

Antonia María Fernanda Suárez

Administradora de empresas del CESA, con maestría en Gerencia de Políticas Públicas de la Universidad de Georgetown. Tiene más de 20 años de experiencia en los sectores público y privado. Desde 2015 fue vicepresidenta de estrategias y finanzas de Ecopetrol. Ha pertenecido a las juntas directivas de Isa, Isagén, XM, FDN, Cenit y Ocensa. Actualmente se desempeña como ministra de Minas y Energía.

Buenos días para todos. Doctor Forero y senador Agudelo, un saludo. Quiero felicitarlos por convocar a este foro sobre seguridad energética para Colombia, que es un tema de la mayor importancia para todos. Una de las cosas fundamentales que nosotros podemos ver en la situación en la que estamos en este momento es la necesidad que tiene el país de que las luces se mantengan encendidas y que siga existiendo gas para que todos preparen sus alimentos, haya gasolina para las ambulancias y se mantengan prendidas las calderas de los hospitales.

La situación por la que están atravesando Colombia y el mundo, de alguna manera nos hace recordar las cosas que son esenciales para la vida, y algo que ha quedado claro en estos meses es la importancia de la seguridad energética dentro de la vida de los seres humanos. Aunque es evidente para muchos, y sobre todo para las personas conocedoras del tema, cuando uno habla de seguridad energética tiene que referirse integralmente a lo que es la energía, porque cuando se habla de energía pensamos solamente en energía eléctrica, pero la matriz es mucho más compleja.

En el periodo 2015-2018, los recursos económicos provinieron principalmente del petróleo y la minería, y en este periodo el petróleo pesó mucho debido a que no solamente se perciben los impuestos sino también los dividendos de Ecopetrol. Las regiones de Colombia en el bienio 2019-2020 recibieron cerca de 24 billones de pesos, que es, sin duda, el monto de inversión más significativo con el que cuentan. Y aquí aprovecho para recordar que, con la reforma constitucional que llevamos a cabo, se busca aumentar el porcentaje de regalías que va a los municipios más pobres y el de regalías que se destina a ciencia y tecnología. Asimismo, se busca destinar el 5 % de las inversiones para el medio ambiente y aumentar la participación en las regalías de las regiones productoras.

Esta reforma va a ser algo que vamos a discutir en el Congreso de la República. La reglamentación de la ley, una vez podamos terminar el proceso de consulta previa, sin duda va a generar un cambio muy importante en la inversión de estas regalías. Además, las regalías no solamente generan ingresos muy significativos para las regiones y para el país, sino que explican el 17 % de la reducción de la pobreza en Colombia.

Este sector representó, en 2019, el 34 % de la inversión extranjera directa del país y el 56 % de las exportaciones. Cuando pensamos en esto, surgen varias reflexiones, y una de ellas es que algunas veces, cuando oímos hablar del tema de la transición energética, se oye como si fuera una situación en la que de un día para otro se van a sustituir todas las fuentes fósiles. Pero, aunque eso pudiera ser deseable desde un punto de vista de emisión de gases de efecto invernadero, la realidad es que no es posible aún hacerlo de manera abundante.

En toda la cuarentena mundial se ha observado que la demanda de electricidad disminuyó entre un 15 y un 20 % dependiendo de las regiones del mundo, y la demanda por combustibles ha caído de cerca de un 30 % a alrededor de 17 %. Esto significa que la razón por la que existen energéticos es porque son algo esencial para la vida, y que, aun cuando se han disminuido los consumos individuales durante los aislamientos, es esencial que haya electricidad en las casas para la conservación de los alimentos y para muchos otros menesteres.

Respecto al peso de los energéticos, según la Agencia Internacional de Energía, en 2018 el 27 % de la fuente de energéticos provenía del carbón, el 31 % del petróleo, el 23 % del gas natural y cerca del 10 % de los recursos renovables. Pero si se consideran los diferentes escenarios, particularmente el más importante, que es el de desarrollo sostenible, lo primero que se observa es que se necesita, fundamentalmente, disminuir el consumo total

de energéticos, lo cual solamente se logra a través de la eficiencia energética, y para ello es necesario no solo introducir nuevas tecnologías, sino nuevos comportamientos en el consumo. El éxito de las políticas actuales y el de las políticas anunciadas depende del hecho de que se seguirá aumentando el consumo de energía debido al desarrollo, pues vamos a seguir necesitando petróleo, gas y carbón, lo cual implica un incremento muy significativo en las energías renovables.

Cuando se analizan estos datos, se debe tener en cuenta que este es un proceso de transición, en el que es fundamental para el país avanzar de manera muy decidida, como lo estamos haciendo con las nuevas fuentes de generación eléctrica, como las energías renovables, pero debemos tener conciencia de que los combustibles fósiles se van a seguir necesitando por un largo tiempo.

En Colombia, las proyecciones que tenemos según el Plan Energético Nacional muestran que cada vez se va a electrificar más, porque la industria va a generar sus procesos productivos con un porcentaje más alto de electricidad, y también porque se debe dar un cambio sobre todo hacia una movilidad eléctrica, lo cual llevará a que hacia el 2050 se duplique el uso de la electricidad como fuente de energía de los energéticos.

Por otra parte, según las proyecciones, el gas natural va a pasar de representar un 13 % a un 50 % en el escenario del desarrollo sostenible. Es importante considerar esto porque el gas natural juega un rol muy importante cuando se piensa en la sustitución de combustibles líquidos de gas y de diésel utilizados en la movilidad. El gas es sumamente favorable actualmente porque hoy en día el motor de gasolina, o su sustitución en sistemas de transporte masivo o en vehículos de alta tracción, tiene un costo tecnológico bajo. Por ejemplo: mientras que un taxi movido por gas cuesta lo mismo que un taxi movido por gasolina, uno eléctrico puede estar costando cuatro veces más, por lo que la primera transición en la movilidad va a ser de combustibles líquidos a gas por lo menos en un tiempo largo.

En este orden de ideas, cuando se introducen en la matriz eléctrica fuentes renovables no convencionales, estas tienen una característica importante y es que son fuentes variables, tal como se ve en la actualidad con nuestros embalses en mínimos históricos debido a las pocas lluvias, y eso mismo pasa cuando se introduce energía solar y energía eólica, porque son fuentes que dependen del clima. Sin embargo, en Colombia, al tener cerca del 70 % de su energía proveniente de fuentes hídricas, el introducir fuentes eólicas y solares va a diversificar la matriz y hacerla más resiliente.

Algo que se ha trabajado desde el inicio del gobierno del presidente Duque, y que es fundamental en la transición energética, es la entrada de las energías renovables no convencionales. Para mí, es una satisfacción poder contarles a todos en este foro que, en el índice de transición energética que publicó el Foro Económico Mundial esta semana, para 2020 Colombia avanzó nueve posiciones y pasamos a ocupar el lugar 25 entre 115 países, y somos el segundo país en Latinoamérica en mejor posición para la transición energética después de Uruguay. Una de las razones principales de este avance es la decisión política del Gobierno, al incluir dentro del Plan Nacional de Desarrollo no solamente la obligatoriedad de que para el 2022 el 10 % de las compras de energía provengan de fuentes renovables no convencionales, sino también todos los incentivos tributarios y los cambios regulatorios que se han hecho al respecto.

En 2018 se tenía cerca de 1 % de la matriz de generación eléctrica en fuentes no convencionales, y para 2022 esas fuentes no convencionales van a pasar al 12,6 %. ¿Cómo vamos a lograr esto? En las subastas que ya realizamos en 2019, y que ahora es

fundamental hacerlas realidad, aseguramos que se van a tener, en 2022, 2500 megavatios de nueva capacidad instalada en energía solar y en energía eólica, representados en más de 14 proyectos.

Nosotros teníamos como meta reducir cinco millones de toneladas de carbono vía generación eléctrica y ya duplicamos esa meta con la entrada de estas nuevas fuentes de generación. Algo fundamental durante la pandemia y la pospandemia es la capacidad de estos proyectos de generar empleo, de lograr una matriz más equitativa, más sostenible, en la que no solamente vamos a desarrollar estos proyectos, sino que simultáneamente se busca ampliar el acceso que tienen más de 500.000 familias en Colombia. Para eso trabajamos, es decir, para llevar al menos a 100.000 familias nuevas fuentes, para que tengan acceso a la electricidad por primera vez, pero debemos hacerlo al tiempo que se llevan a cabo estos proyectos.

En su intervención, el viceministro va a darnos más detalles de la situación, pero quiero antes llamar su atención y decirles que Colombia ha sido independiente desde el punto de vista energético desde que tenemos memoria. Tal vez, a mediados de los años ochenta, el país, durante un tiempo muy corto, tuvo que ser importador de energéticos, particularmente petróleo, pero algo así genera una situación muy dependiente de las economías globales y de los flujos internacionales, lo cual es, sin duda, indeseable para Colombia.

Como bien lo hemos visto, los hidrocarburos, ya sean gas o combustibles líquidos, van a ser necesarios como fuente de energéticos de los colombianos durante un buen tiempo, y la situación es que tenemos unas reservas de petróleo de seis años aproximadamente y unas reservas de gas que cayeron de diez años a 9,8 en 2018 y a ocho en 2019. Esto debe ser una señal de alarma para Colombia, porque el 100 % del gas que se produce en nuestro país es para nuestro consumo; por eso, ya tenemos una planta de importación. Por otra parte, el precio al que llega ese gas de importación es cercano al doble del precio del gas que se produce nacionalmente, por lo que generar una dependencia es indeseable.

Por esto, desde que entramos al Gobierno hemos trabajado intensamente para que el sector de hidrocarburos continúe con su dinámica y se reactive. Debemos buscar más pozos exploratorios, aumentar la tecnología de recobro, delimitar los pozos costa afuera y avanzar en los proyectos piloto de investigación integral, para tener la posibilidad de pasar de ocho o nueve años de reservas de gas, a entre 35 y 50.

El gas es fundamental en la matriz de generación eléctrica, porque, como se ha venido señalando respecto a las fuentes de energía, en la medida en que se introduzcan más energías variables, como energía solar y energía eólica, y las combinemos con fuentes hídricas, será fundamental que haya plantas de generación térmica de gas que le den confiabilidad al sistema, para que cuando esas fuentes variables no estén presentes, las fuentes térmicas de gas puedan ser el complemento que logre un balance en la generación eléctrica, para que haya no solamente energía sostenible, sino confiable y asequible.

Antes de terminar, quiero dejarles el mensaje de la importancia que tiene este sector no solamente en la historia de inversiones en Colombia, sino que, en el sector de minas y energía y en la seguridad energética, tenemos además una gran oportunidad para solventar las necesidades de crecimiento económico y de generación de empleo que tiene el país. Hemos pasado por unos meses difíciles, en los que se han perdido muchísimos empleos, y muchos colombianos han visto mermada su capacidad adquisitiva y su capacidad de generación de ingresos. Como país tenemos que unirnos desde todas las esquinas para

asegurar que vamos a ofrecer a los colombianos oportunidades de generación de empleo y de crecimiento en el sector energético.

Tenemos 35 proyectos priorizados, con capacidad de contar con cerca de 37 billones en inversiones y generar 29 billones de pesos en regalías, y más de 53.000 empleos. Estas fuentes de crecimiento provienen de 17 billones relacionados con proyectos mineros, y tenemos la ventaja de diversificar nuestra matriz minera. Tal vez uno de los únicos valores económicos que han crecido durante esta situación es el oro, y Colombia tiene unas fuentes muy importantes de este metal, e igual ocurre con el litio, fundamental para las baterías, los celulares y los computadores.

El cobre y el oro, como minerales, son fundamentales, pero Colombia tiene una mayor participación en la minería del carbón, y por eso debemos diversificar nuestra matriz minera. Tenemos inversiones estimadas en cerca de tres billones en hidrocarburos, adicionales a los cerca de cuatro o cinco billones que invertimos anualmente en este sector, y esperamos, en los próximos tres años, inversiones de cerca de 17 billones en energía o en electricidad. De esos 17 billones, aproximadamente diez son para nueva generación eléctrica y siete para fortalecer la transmisión y las redes de distribución para llegarles a los colombianos con una energía de mejor calidad.

En síntesis, lo que trabajamos, y por lo que esperamos trabajar unidos con el Congreso de la República, con la academia, con las organizaciones académicas, con las empresas y con los consumidores, es que ser colombiano debe ser lo que nos haga trabajar unidos. Tenemos que salir de la actual situación utilizando el sector minero-energético como un gran apalancador de oportunidades para generar crecimiento, para generar empleo, pero, sobre todo, para que terminemos con una matriz energética más resiliente, más sostenible, más equitativa y con un acceso mejor para todos.

Muchas gracias.

Seguridad energética e hidrocarburos en Colombia

Diego Meza Puyo

Viceministro del Ministerio de Minas y Energía, el doctor Meza es economista de la Universidad de Concordia en Canadá, con maestría de Economía de la Universidad McGill de ese mismo país. Es analista financiero y cuenta con más de trece años de experiencia asesorando a gobiernos y empresas privadas en temas económicos, fiscales y tributarios en el sector minero-energético. Se ha desempeñado como economista del Fondo Monetario Internacional, donde ha liderado y participado en más de 35 misiones para asesorar a gobiernos en la formulación de políticas públicas para las industrias extractivas.

Voy a enfocarme en el tema de los hidrocarburos respecto a la seguridad energética. La ministra hizo un análisis de la importancia macroeconómica del sector energético para el país, y se concentró sobre todo en el tema de la transición energética, pero en sus primeras intervenciones dejó claro cómo íbamos a continuar utilizando los energéticos que vienen de los combustibles fósiles y en particular mencionó las ventajas que tiene el gas natural.

Me enfocaré en lo que estamos haciendo desde el punto de vista de los hidrocarburos. Cuando llegamos al Gobierno, había cuatro áreas en las cuales decidimos que íbamos a enfocarnos: dos que ya se venían haciendo, que son la promoción de la exploración de yacimientos continentales (que es de donde proviene la mayor cantidad de producción de nuestro país) y la implementación de tecnologías de recobro mejorado, que más que las adiciones de reservas son las tecnologías que nos han permitido incrementar las reservas y la producción, sobre todo, del crudo en los últimos años.

Decidimos también enfocarnos en dos áreas que tienen un gran potencial y ahora vamos a hablar un poco a ellas. La primera es el desarrollo de las cuencas costa fuera, en particular en la costa Caribe, y la segunda es la de los yacimientos no convencionales. En la reactivación del sector que se venía dando en estos primeros veinte meses de gobierno de manera importante, lo primero para recalcar fue que volvimos a firmar contratos de exploración y producción que no se habían firmado hace más de cinco años; se firmaron 25 contratos en áreas continentales y por primera vez en mucho tiempo se firmaron seis nuevos contratos de exploración costa afuera.

Aquí es importante mencionar el tema de costa afuera, sobre todo en la cuenca Caribe, porque cuando uno observa lo que ha venido ocurriendo en otros países de la región, ve que el potencial de esa cuenca, que en Colombia está subexplotado, es bastante grande. En particular, debe recalcarse que lo más reciente son los descubrimientos que se han hecho en Guyana, un país que tiene 700.000 habitantes, que muy rápidamente va a pasar a producir más de un millón de barriles de crudo diario, e igualmente lo que ha pasado también en Brasil. Y cuando uno cruza el Atlántico siguiendo las mismas fallas geológicas, se encuentra con los descubrimientos bastante importantes en Ghana, en Senegal y en Mauritania, ocurridos en los últimos años. Ahí hay un potencial que puede ser petrolífero, y por eso van a arrancar las campañas de exploración este primer semestre, para lo cual contamos con firmas de talla internacional como Exxon, Shell, Repsol y, por supuesto, Ecopetrol.

La producción se incrementó en 2019 en cerca de 2,4 % y esto se venía dando por un incremento importante en la inversión extranjera directa en este sector, gracias a muchos de los incentivos tributarios que se han venido propiciando desde el Gobierno para las industrias con una intensidad en el uso del capital. También se veía reflejada la mayor actividad en dos variables que reflejan cómo va a ser la actividad exploratoria y la producción futura: la primera es la adquisición de sísmica, ya que, aunque veníamos de unos años con una adquisición bastante baja, esto se incrementó de manera importante en 2019, y en pozos exploratorios logramos también mantener lo que se había hecho en 2018. No obstante, con todo el tema del aislamiento preventivo obligatorio, el desplome de los precios del petróleo y la coyuntura actual, seguramente vamos a tener unos desafíos importantes en 2020 y en 2021, pero la idea es continuar con esta reactivación del sector.

La ministra ya mencionó el tema de reservas, y aquí lo importante es enfocarse en el tema del gas, que es donde tenemos el mayor desafío. En crudo hemos venido incrementando en los últimos cuatro años las reservas de manera leve pero sostenida, pero justamente lo contrario es lo que ha venido ocurriendo en el tema de gas natural y por eso aquí es muy

importante hacer énfasis en esas nuevas áreas de exploración, como la costa afuera y los yacimientos no convencionales.

En el tema de los yacimientos no convencionales, y aprovechando que este es un evento eminentemente académico y científico, el Gobierno lo que decidió hacer fue tener un enfoque desde el punto de vista científico de tales yacimientos, sobre todo por la sensibilidad del tema, y lo que hemos pretendido es tener una discusión informada desde el ámbito científico. Por eso conformamos en 2018 una comisión de expertos nacionales e internacionales, todos con una trayectoria bastante reconocida en la academia y la investigación.

Contamos con tres expertos en temas de gestión ambiental (de biología, de ideología y de medicina), en temas de comunidades y, por supuesto, en temas de política petrolera y temas fiscales y macroeconómicos. Esta comisión recomendó hacer unos proyectos piloto en investigación integral, y con base en las recomendaciones hemos desarrollado un marco regulatorio para poder darles vía libre a esos proyectos. Ya se expidió un decreto en este sentido, y también se fijó la regulación técnica por parte del Ministerio de Minas y Energía, así como acuerdos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, que contienen los lineamientos sobre cómo sería esta exploración para los proyectos piloto; además, están por expedirse en las próximas semanas los términos de referencia ambiental.

Quiero concluir haciendo eco a la idea que dio el senador Iván Agudelo en su intervención, respecto de academizar un poco más la política pública y no politizar la academia. Este es un gobierno que cree en la ciencia y que se apoya en ella para tomar decisiones. Por eso, otra iniciativa bastante importante que hicimos, y que aprovecho para mejorarla acá, fue la creación de una comisión de expertos para la transformación energética. En ese campo contamos con cinco focos de estudio, cada uno de ellos con cerca de cuatro o cinco expertos en los temas de estructura del mercado del sector eléctrico, el rol del gas natural para el sector eléctrico, la digitalización y descentralización, el uso de tecnologías en el sector, los avances en cobertura y relocalización de subsidios y, finalmente, el análisis y revisión de todo el marco institucional y regulatorio. Creo que hoy, en este foro, van a intervenir expertos, tanto de la misión de transformación energética como del tema de yacimientos no convencionales.

La búsqueda de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos en Colombia: un aspecto clave de la seguridad energética

Jorge Alberto Valencia Marín

Ingeniero civil de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, tiene una especialización en negocios internacionales y una maestría en la Universidad EAFIT. Fue director ejecutivo de la Comisión de Regulación de Energía y Gas y director de la Unidad Planeación Minero-Energética entre 2015 y 2017. Tiene amplia experiencia en el sector eléctrico en compañías como Codensa y de interconexión eléctrica como ISA.

Para nosotros, como país, el tema que estamos tratando debe ser una preocupación constante. Como lo señalaron tanto la señora ministra como el señor viceministro, el país tiene los recursos suficientes en materia energética. Los análisis de las agencias internacionales dedicados al estudio de las condiciones energéticas de los diferentes países (como el caso del consumo mundial de energía internacional de energía) y los foros de investigación de trabajo permanente en temas energéticos califican a Colombia dentro de los países con una mayor seguridad energética a nivel mundial.

No solamente en temas de transición nos califican muy bien, como lo señaló la ministra, sino también en la sostenibilidad a largo plazo. Pero ¿esto de dónde proviene? Proviene del concepto de que Colombia cuenta con los recursos, tanto renovables como no renovables, suficientes para abastecerse energéticamente por periodos muy largos. No obstante, un tema diferente es: ¿cómo se aprovechan esos recursos? Acá hay preocupaciones importantes. No solamente se necesita contar con el recurso, sino saber aprovecharlo.

En este sentido ya se han señalado aspectos muy importantes, como la gestión deficiente de la energía, el tema de sostenibilidad en el largo plazo y el de los aprovechamientos energéticos que se hagan. Pero también es muy importante entender, por parte de quienes consumimos la energía, que para que los recursos pasen de estar en lugares donde la naturaleza los pone a los lugares donde los ubicamos (trabajo, espacios para vivir), y así desarrollar nuestras actividades, se requiere una infraestructura conocida, como la producción o el aprovechamiento de los recursos.

Debemos enfocarnos en la transformación de los recursos de las fuentes primarias, como lo son el petróleo o el gas natural, el carbón, el agua, el viento, el sol, el calor del subsuelo (lo que se conoce en el ámbito académico como la geotermia) y en otras tecnologías que se están desarrollando a nivel mundial. Esas fuentes de producción, o de transformación de recursos primarios a la forma en que nosotros los usamos en la vida cotidiana, requiere desarrollar una infraestructura altamente eficiente. Pero no solamente se debe pensar en el aprovechamiento de la producción de la energía, sino también en el transporte la misma.

Cuando hablamos de seguridad energética, tenemos que considerar todos los elementos que componen el aprovechamiento del recurso y examinar la posibilidad de ponerlo en nuestros hogares. Para el ente regulador, un trabajo importante es asegurar que las inversiones se puedan hacer, pero obteniendo rentabilidades razonables conforme lo manda nuestro ordenamiento legal; es decir, que se haga en forma eficiente, que los mercados operen de la mejor manera y que a los usuarios se les fijen unos precios favorables cuando aprovechen adecuadamente los recursos.

Todos estos elementos son necesarios. No solamente es importante contar con los recursos, sino que se necesitan unas reglas claras para que, con todo eso con lo que el país cuenta (por fortuna), se tenga la posibilidad de que todos estos recursos alcancen precios eficientes y que sean accesibles a los diferentes tipos de usuarios; solo así podrá constituirse en motor de desarrollo y de mejoramiento en la calidad de vida de todos los ciudadanos.

Es muy importante, además de contar con unas reglas claras, obtener un panorama claro hacia dónde va el país. Este es uno de los temas que nos planteaban con la invitación a este foro, es decir, la posibilidad de crear unas nuevas instancias que estén monitoreando, o que estén indicando, hacia dónde va el país. Y ahí tengo que referirme a un tema muy importante que tiene nuestro esquema o sistema minero-energético que, seguramente, debe revisarse y mejorarse cada día porque el mejoramiento continuo tiene que ser una disciplina de todos en el trabajo y en la vida diaria y personal.

Pero debemos señalar que, desde la crisis que hubo en el sector energético y eléctrico a principios de los años noventa, Colombia tuvo una transformación importante, y estamos en el proceso de revisar qué se debe ajustar en ese proceso de transformación.

El marco institucional colombiano tiene unas fortalezas muy importantes que hay que resaltar. Tiene entidades que cada día se están fortaleciendo más, como la Unidad de Planeación Minero-Energética para la planeación del uso de los recursos del desarrollo de los potenciales que tiene el país, el Servicio Geológico colombiano (entidad que se dedica permanentemente a identificar dónde están esos potenciales de desarrollo y recursos para el país) y el Instituto de Promoción y de Planificación para Zonas no Interconectadas.

Como mencionó la ministra, uno de los retos importantes que todavía tiene el país en materia energética es llegarle a la totalidad de los colombianos, y en eso el IPSE juega un papel muy importante, así como las agencias de hidrocarburos y de minería, que administran los recursos disponibles.

El marco institucional debe ser mejorado y fortalecido. Seguramente hay necesidad de complementarlo con algunas instituciones de algún ente adicional, pero hay que mirar cómo pueden cumplir el papel para el cual están diseñadas, porque, aunque a nivel internacional Colombia se destaca por la seguridad energética en materia de sus recursos de la sostenibilidad, con un marco institucional fuerte y organizado, y con los roles que cumple cada una de estas instituciones que mencioné, que asumen muy bien su papel, podrá lograrse este objetivo.

En el tema de la seguridad energética no podemos pensar únicamente en unos cables o en unos equipos que transforman cualquier fuente primaria de generación en electricidad. La seguridad energética no se reduce a la energía eléctrica; por el contrario, son todas las fuentes de energía que hay y todos los usos energéticos que podemos darle al calor, al vapor y a otra serie de recursos. Tenemos que trabajar en usar de manera eficiente esos recursos y hacernos responsables de ellos. Solo así el país podrá avanzar en su desarrollo y mejorar la calidad de vida de todos los ciudadanos.

Muchas gracias.

El papel de Ecopetrol en la seguridad energética

Felipe Bayón Pardo

Ingeniero mecánico de la Universidad de los Andes. Trabajó en Hocol y tiene más de 25 años de experiencia en la industria. Entre su trayectoria se destacan los más de 20 años que trabajó dentro de la petrolera mundial BP como vicepresidente de operaciones, vicepresidente senior para América y director del Grupo de Respuesta de Aguas Profundas. Actualmente es presidente de Ecopetrol.

En estos tiempos de crisis y de reflexión es muy importante pensar sobre cómo la misma pandemia puede afectar la seguridad energética. Desde Ecopetrol se ha trabajado constantemente en los mecanismos para llevarle la energía a la gente, buscando la manera en que se puede aprovechar mejor la evolución que están teniendo las diferentes fuentes de energía y el uso que se les puede dar.

En términos contextuales, los siguientes son los resultados del primer trimestre de este año. Una producción creciente, unas cargas en refinería estables, un sistema de transporte que les permite a los colombianos no solo tener la gasolina, el diésel y el combustible jet en tiempo y en forma, sino que también permite que nuestros crudos lleguen a los mercados internacionales. Sin embargo, esta visión del primer trimestre, con la declaración de la pandemia a nivel mundial, rápidamente nos ha llevado a una crisis que no tiene precedentes.

Se han experimentado varias crisis, pero esta tiene un condimento particular y es la destrucción de la demanda. Cuando más de 4000 millones de personas están encerradas y en cuarentena, hay un impacto directo en la demanda. Algunos dicen que de los cien millones de barriles de crudo que todos los días se consumen en el mundo, la demanda puede haber caído un 20 % o un 30 %, y hay quienes dicen que la recuperación será una "U" o una "V" alargada en el tiempo. Es necesario, entonces, ver cómo nos impacta esta situación.

Desde Ecopetrol se debe, primero, proteger lo que ya tenemos, y producir de manera eficiente, segura y ética. Desde el punto de vista de reservas, ya se está hablando de crudo y de gas. Por otro lado, es fundamental tratar el tema de seguridad energética, y tratar de que el gas siga siendo cada vez más importante. En la matriz energética colombiana, más de nueve millones de usuarios utilizan todos los días el gas. Esto muestra lo esencial del acceso a este producto. En Ecopetrol se tiene muy presente que el acceso a la energía es una de las maneras más poderosas para cerrar las brechas que hay en el país. Es esencial que la gente tenga energía para soportar un negocio, para mejorar su calidad de vida, para estudiar, en fin, para llevar a cabo muchas otras actividades.

Teniendo en cuenta lo que fue el 2019, el 2020 va a ser un año muy duro debido a una caída de precios importante y un notorio decrecimiento de la demanda. Por otro lado, en la perspectiva de la eficiencia, es decir, lo que tiene que ver con el precio de equilibrio de las operaciones de Ecopetrol, ese punto se consigue cuando se alcancen 63-64 dólares por barril Brent. No obstante, en los últimos años, como en el 2019, el precio de equilibrio fue de menos de 30 dólares.

¿Por qué es importante hablar de esto? Porque, en una crisis como la actual, más del 90 % de la producción de Ecopetrol es rentable a 30 dólares el barril Brent, y eso lleva a pensar que somos autosuficientes, y que, prácticamente, los combustibles que se requieren se producen en el país generando impuestos, empleos y regalías. Es decir, no habría necesidad de importar el crudo para refinar los productos.

Pensando en lo anterior, se implementó un plan de contingencia muy grande. Pero ¿qué tiene que ver esto con seguridad energética? De hecho, tiene relación con la sostenibilidad de la compañía en el largo plazo. Ecopetrol tiene un poco menos de 300.000 accionistas, siendo el Gobierno el mayor de todos, y, a través de los fondos de pensiones, indirectamente tocamos todos los días 16 millones de colombianos, pues esos fondos, y sus portafolios, tienen acciones en Ecopetrol.

Basados en las experiencias de las crisis anteriores, proactivamente se tomó la decisión de implementar un plan de contingencia financiero. Se decidió que los crudos colombianos sean los primeros crudos que entran en los mercados internacionales. En China, por ejemplo, las cargas de las refinerías están retomando niveles que veíamos antes del principio de la crisis del covid, e, inclusive, el tráfico vehicular y las congestiones son variables que se están teniendo en cuenta a nivel mundial. Con ese análisis y esfuerzo, se están persiguiendo 130 millones de dólares adicionales en ingresos, lo cual requiere, como acabo de decir, que nuestros crudos salgan y sean colocados en los mercados.

En cuanto a costos y gastos, debemos ser eficientes. Se ha optimizado, pues ya van en 3,5 billones de pesos sobre el plan del 2020. El plan de inversiones, que estuvo entre 4500-5500 millones de dólares, estaba en 2500-3000 millones. Esto hace parte del "freno", y esta pisada del freno en inversiones va a tener unos impactos hacia adelante en términos de la cantidad de crudo y de gas que podemos producir.

Definitivamente, es necesario revisar el plan de negocios hacia adelante en la segunda mitad del año. Por otro lado, se consiguió financiación en los mercados, pues se alcanzaron más de 3100 millones de dólares, que permiten que la caja de la compañía esté muy saludable para afrontar una crisis de la cual todavía no sabemos, exactamente, a qué profundidad va a llegar, ni cuál será su duración.

Bill Gates, uno de los personajes que más han estudiado el tema de las pandemias, decía: "¡Perfecto! Esta es la pandemia número uno; ¿cómo estaremos preparados, como humanidad y como sociedad, para la pandemia número dos, la pandemia número tres, la pandemia número cuatro…?". Todo ello es, sin duda, muy cierto, y afecta la demanda, el consumo y el tema de seguridad energética.

Es claro que se deben conservar las inversiones en proyectos estratégicos, que se debe producir más en los campos que ya se tienen y que se deben buscar oportunidades en producción de gas. Al respecto, se hizo una inversión a través de Hocol, que es el grupo de control para comprar la participación que tenía Chevron o Texaco en los campos de Chuchupa Ballena. Hay algunas oportunidades exploratorias en esa área durante los próximos años y, de hecho, se ha incrementado la producción de gas de estos campos.

En energías renovables, la senda de descarbonización se refiere a la calidad de combustibles de CO_2. Se ha hecho un seguimiento permanente de la huella de carbono que dejamos. Por ejemplo, el año pasado tuvimos una certificación de un millón de toneladas de reducción en términos de CO_2, que se puede monetizar y, de alguna manera, utilizar desde el punto de vista financiero. Esa es la reducción que estamos haciendo en la huella de carbono. En promedio, cada uno de nosotros, como colombianos, somos responsables de más o menos cinco toneladas de CO_2 al año.

También están los proyectos piloto de investigación integral de "no convencionales", que es un tema polémico pero estratégico para el país. Es necesario que se tome la decisión con información transparente y real sobre si es algo en lo que se quiere apostar para, definitivamente, tener la oportunidad de seguir siendo autosuficientes desde el punto de vista de energía.

La transformación digital ha sido fundamental para el trabajo de hoy en día. El 85 % de los 13.000 empleados cumplen sus funciones de manera remota. Muchos de los procesos que se hacían manual o presencialmente, se están haciendo con *bots*, que son robots que nos ayudan de manera importante en estos procesos.

En la transición energética hemos buscado cómo hacer que Ecopetrol se haya convertido en la compañía más gaseosa, una compañía que tiene más de soporte y apoyo en temas de energía renovable. Buscamos crecimiento sostenible, es decir, accionistas que tienen participación a través del fondo de pensión o de los fondos de pensiones en Ecopetrol y los más de 300 municipios donde hace presencia Ecopetrol. La empresa hace parte de esas comunidades. Es necesario mirar el crecimiento sostenible en temas como, por ejemplo, reforestación, forestación y restauración; idear soluciones con base en la naturaleza es algo que estamos analizando.

Se debe aumentar la inversión socioambiental enfocada al manejo de la emergencia y de la pandemia, ya que hay inversiones de alrededor de 69.000 millones de pesos menos para los sistemas de salud y el apoyo a las personas más vulnerables en esas zonas donde operamos. Se debe considerar el tema de la diversidad y la inclusión, reconocernos desde la diferencia e invitar a todos a participar de las discusiones.

Desde el punto de vista tecnológico, hay cuatro direccionadores: primero, cómo hacer para que las reservas nos duren más tiempo, para lo cual debemos mejorar la tecnología y utilizarla en la separación en fondo de pozos; esa tecnología, junto con la innovación, se está desarrollando en el Instituto Colombiano de Petróleo. Segundo, se debe dar soporte a la sostenibilidad, referida a la reutilización del agua; hace unos años se reutilizaba el 57-58 % del agua que producimos todos los días, y hoy está entre el 65 %, 66 %, 67 %. Tercero, se debe mejorar la transición energética, es decir, trabajar con energía renovable. Cuarto, se debe descarbonizar; es fundamental bajar nuestra huella de carbono en los productos que compramos, producimos y consumimos. En resumen, la diversificación energética debe enfocarse más en el recurso solar y el hidrógeno, la reutilización del agua y la disminución de emisiones, y debemos aprovechar la exploración de los campos teniendo en cuenta los limitantes económicos. Esto, evidentemente, ayudará a que nuestras reservas duren más.

Con relación a lo renovable, hoy en día están la biomasa y la energía solar, y para el efecto se adquirió una red de 30 megavatios renovables. Hay un plan para llegar a 300 megavatios de autogeneración con recursos renovables; de esa manera, se piensa pasar del 5 % de capacidad instalada de generación eléctrica con renovables, al 20 %.

Intervención del Departamento Nacional de Planeación en la audiencia de seguridad energética[1]

Daniel Gómez Gaviria

Economista de la Université de Lausanne, Master of Science in Banking and Finance de la Université de Lausanne, Master Booth School of Business MBA de la Université de Lausanne, Master of Arts de la Universidad de Chicago y Ph. D. Business Economics de la Universidad de Chicago. Se desempeña actualmente como subdirector general sectorial del Departamento Nacional de Planeación.

[1] Participaron en la elaboración de este documento: Jonathan Bernal González, director de Infraestructura y Energía Sostenible; Juan Sebastián Robledo, director de Innovación y Desarrollo Empresarial; Orlando de la Hoz O., abogado de la Oficina Asesora Jurídica; Marisela Calpa G., abogada de la Oficina Asesora Jurídica; Marcela Gómez Martínez, jefa de la Oficina Asesora Jurídica; Sebastián Ramírez Flechas, asesor de la Dirección General.

Factores claves para la seguridad energética en Colombia

Desde el sector planeación, para efectos de garantizar la seguridad energética en Colombia se considera fundamental seguir promoviendo la diversificación de la matriz energética del país, permitiendo progresivamente la entrada de nuevas fuentes de energía, principalmente más limpias, y no en la concentración de una sola fuente, infraestructura o mercado. Actualmente, en Colombia la oferta de energía primaria está compuesta predominantemente por combustibles fósiles (carbón y petróleo), con una participación cercana al 77 % del total, mientras que la hidroelectricidad, el gas natural y las fuentes no convencionales de energía renovable (bagazo, biocombustibles y leña) suman el restante 23 %.

En materia de hidrocarburos, el gas natural se posiciona como el energético fósil menos contaminante debido a que emite menor cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en comparación con el carbón y el petróleo, lo cual hace que sea considerado a nivel mundial como el combustible de transición hacia las energías limpias por ser más sostenible con el medio ambiente.

El sector eléctrico colombiano ha desarrollado diferentes mecanismos para garantizar la confiablidad del sistema. Sin embargo, existen algunos aspectos que resultan relevantes para generar una mayor competitividad y confiabilidad. El principal de estos aspectos será buscar una mayor penetración y desarrollo de las energías renovables en la matriz energética. Como se sabe, el país es vulnerable a los cambios climáticos dada nuestra alta dependencia del recurso hídrico. En este sentido, los recursos renovables no convencionales se han mostrado como un recurso complementario cuando el país experimenta bajos niveles en embalses de hidroeléctricas y precipitaciones. Será importante seguir desarrollando mecanismos para su inclusión, como la subasta de contratos de largo plazo y mecanismos financieros para generar condiciones favorables para el desarrollo y el cierre financiero de estos proyectos.

Otro factor clave es la resiliencia de esta matriz, lo cual significa que debe ser capaz de resistir los impactos de una amplia gama de fuentes, tales como desastres naturales, conflictos geopolíticos, atentados a la infraestructura, entre otros. Para el caso de los hidrocarburos, es importante contar con la infraestructura necesaria para su almacenamiento y transporte de manera que haya conexión entre oferta y demanda. Asimismo, es importante establecer estrategias de atención de demanda frente a un desabastecimiento de hidrocarburos y en la generación de energía eléctrica.

Adicionalmente, resulta de vital importancia desarrollar e impulsar la eficiencia energética en el país. Para 2030 se espera que la demanda de energía en el país se incremente en un 52 %, por lo cual la eficiencia energética sería una alternativa complementaria para incrementar nuestra seguridad energética. El potencial de eficiencia energética en el país, de acuerdo con los cálculos de la UPME, es de alrededor del 9 %, o, dicho en términos económicos, si los sectores industrial, residencial, de transporte y de servicios invirtieran en las mejores tecnologías disponibles en Colombia, su potencial de ahorro en consumo energético al año sería de unos 6600 millones de dólares, un poco más de 25 billones de pesos.

Otro aspecto importante es poder garantizar el abastecimiento tanto de los hidrocarburos como la generación de energía eléctrica, con el fin de que satisfaga la demanda en cantidad, calidad, oportunidad y precios eficientes, y que se incentive a su vez el desarrollo económico del país. En cuanto a los hidrocarburos, el Gobierno nacional ha establecido estrategias para el aumento de sus reservas de petróleo y gas mediante la exploración de nuevas

fuentes, como en aguas costa fuera (*offshore*) en la región del Caribe, así como el posible desarrollo de los yacimientos no convencionales. Por otro lado, se busca la implementación de nuevas tecnologías que permitan aumentar las eficiencias operativas en los yacimientos convencionales (actuales). Respecto a la generación eléctrica, se han establecido estrategias para la consolidación de la entrada de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), el aprovechamiento de la bioenergía y el uso de nuevas fuentes alternativas, como el gas natural, el biogás, la biomasa, los renovables no convencionales, los biocombustibles y la geotermia, entre otros, con el fin de sustituir la dependencia de energéticos actuales.

Otro factor importante para la consecución de una seguridad energética es la promoción constante de la aceptación social y ambiental de las fuentes de energía que se implementen, destinándolas siempre a contribuir al desarrollo de las regiones y los territorios, así como a la competitividad y la calidad de vida de los colombianos. Por ejemplo, el sector extractivo genera regalías, impuestos y derechos económicos que se ven reflejados en la inversión de proyectos sociales en el país.

Adicionalmente, es importante mencionar que hoy en día alrededor de 11 % de hogares en el país utilizan leña para la preparación de sus alimentos. Se estima que el uso de este combustible conlleva costos de salud asociados que exceden los 3000 millones de pesos, causa 2286 muertes y 1,2 millones de enfermedades respiratorias. El reemplazo de este combustible generaría numerosos beneficios sociales y ambientales, entre otros, la reducción de emisiones de CO_2, las mejoras en la calidad del aire, la mejora en la calidad de vida de las personas que lo usan y la disminución de la deforestación.

Estrategias desde lo institucional: sobre la creación de un centro de energía y su potencial aporte a la seguridad energética en Colombia

Respecto de las estrategias que pueden implementarse desde el ámbito institucional, desde el sector planeación consideramos fundamental que haya una articulación entre las instituciones regionales y nacionales en cuanto al desarrollo de los diferentes proyectos energéticos, así como la integración entre el Gobierno, la industria, la academia y los territorios, que permita tomar decisiones de manera global y en beneficio del país. Colombia tiene gran potencial para aumentar la participación de fuentes renovables, no solamente en viento y sol, sino también con biomasa y geotermia, y la articulación de actores a través de un instituto de energía puede ser el espacio que permita aprovechar estas fuentes y aumentar su participación en la matriz energética.

La principal estrategia que se debe desarrollar, y que debe seguir fortaleciéndose en el país, es la obtención, procesamiento y publicación (disponibilidad) de la información. Este es un pilar fundamental para conocer en detalle qué está pasando en el país en términos energéticos, sus tendencias, y así poder establecer políticas públicas y medidas que busquen aumentar la seguridad energética, diversificar la matriz y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Para aprovechar el potencial de eficiencia energética es relevante conocer en detalle las medidas a aplicar en los diferentes sectores en conjunto con su impacto y sus costos, con el fin de promover el desarrollo de un mercado. La creación de un instituto de energía podría facilitar estas tareas al recolectar, analizar, procesar y presentar esta información a los usuarios, los sectores económicos y el sector privado para que, de esta manera, la demanda pueda tomar decisiones en su consumo de manera informada.

Otra de las estrategias que se podrían desarrollar por medio de un instituto de energía sería el despliegue de la medición inteligente en el país. Esta tecnología permitiría recolectar

información en tiempo real del comportamiento de las redes y permitiría a los usuarios empoderarse para tomar decisiones más informadas en un mercado en el que la demanda se ha comportado como inelástica ante los precios. El despliegue de esta tecnología también generaría menores costos al usuario, disminución en las pérdidas no técnicas, mejor manejo de cartera, conexión y desconexión.

Por otra parte, Colombia aún tiene cerca de 500.000 familias que no cuentan con el servicio de energía eléctrica. Son usuarios que se encuentran en zonas rurales alejadas, donde no es económicamente viable conectarlas por métodos tradicionales. Un instituto de energía podría promover el desarrollo de estrategias para poder brindarles energía eléctrica a estas familias, involucrando al sector privado y desarrollando nuevos modelos de negocio.

En este sentido, de acuerdo con los focos de la Misión de Sabios 2019, es necesario que la política pública en ciencia, tecnología e innovación promueva el desarrollo energético a través de un portafolio balanceado de fuentes primarias, en el cual se mantenga la explotación responsable de recursos no renovables y se amplíe la adopción de energías renovables. Para esto último, la Misión propuso crear un centro de energía que contribuya a lograr el reto de una Colombia productiva y sostenible.

La Misión de Sabios estableció que dicho centro buscaría la explotación de oportunidades y ventajas comparativas no exploradas, así como la colaboración y articulación con otros centros que trabajan en proyectos complementarios, como en el caso de los hidrocarburos. Para esto, se considera pertinente que el centro tenga una estructura descentralizada en varias regiones del país, de forma tal que se aprovechen las diferentes fuentes naturales que ofrece la diversidad territorial.

De acuerdo con la Misión de Sabios, es necesario que en este centro se incorporen investigadores de alto nivel para el desarrollo de actividades de I+D que favorezcan la transferencia de conocimiento, además de apoyarse en tecnologías computacionales avanzadas que promuevan el despliegue de las industrias energéticas. De igual forma, se debe incorporar un componente experimental, para lo cual el centro debe contar con laboratorios de prototipo y facilidades que mejoren las capacidades de anticipar y probar alternativas de negocios y regulaciones para la transición energética.

Por otra parte, es importante contar con una regulación que propicie el cambio de arquitecturas de mercado y promueva la experimentación, con el fin de eliminar barreras de entrada a nuevas tecnologías y modelos de negocios, estimular la competencia en los mercados y facilitar la adopción de arquitecturas de mercados en energía. Por su parte, la política de ciencia, tecnología e innovación debe impulsar y acelerar la investigación básica, y la adopción, transferencia y desarrollo de tecnologías alrededor de fuentes de energía. Finalmente, el centro de energía debe priorizar proyectos que busquen diversificar el portafolio energético, apoyar el incremento de la productividad total y generar hábitats sostenibles y más limpios. Así, el centro estaría encargado de (Misión de Sabios, 2019):

1) Apoyar la creación de una industria electrónica y digital de paneles solares orgánicos, instrumentación y control para redes inteligentes y microrredes, y eficiencia energética.
2) Apoyar la creación de una industria de biorrefinerías.
3) Estructurar un laboratorio de ciudades inteligentes y simulación para apoyar la implantación de soluciones tales como transporte eléctrico, eficiencia energética y edificios, acompañados de un componente de cambio cultural
.

Actualmente, y en coordinación con el Ministerio de Ciencias, desde el DNP se está construyendo el documento Conpes de la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2030, que permita implementar las recomendaciones de la Misión de Sabios 2019 mediante la definición de lineamientos de política y acciones a desarrollar en los próximos años.

Conclusiones

En conclusión, y honrando el deber constitucional del Estado de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (establecido en el artículo 80 de la Constitución Política), nos resulta claro que el país debe ir migrando hacia una matriz energética cada vez más resiliente y con energéticos complementarios, lo cual permitirá que el país logre el cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales (Documento Conpes 3943, ODS, COP21, OCDE, entre otros), así como la prestación eficiente de los servicios públicos.

Sin embargo esta transición es progresiva y tomará varios años reemplazar el uso de los combustibles fósiles; por lo tanto, así como debemos avanzar en el conocimiento, desarrollo y aprovechamiento de tecnologías energéticas sostenibles, también debemos hacer el aprovechamiento de nuestros recursos naturales actuales de manera sostenible y ambientalmente responsable, generando desarrollo en los territorios con el uso de las mejores prácticas internacionales con el fin de mitigar los diferentes impactos ambientales. Lo anterior se ve reflejado en el PND 20182022, "Pacto por los recursos minero-energéticos", lo cual muestra la gran apuesta que tiene el Gobierno nacional en materia de complementariedad utilizando los recursos actuales y mirando hacia el futuro la inclusión progresiva de energías más limpias, haciendo una matriz resiliente, garantizando el abastecimiento de los energéticos y diversificando la matriz. Para lograr esto, será fundamental que el sector y sus entidades se centren en buscar nuevos modelos y procesos innovadores, y aplicar conocimientos que se han desarrollado en diferentes países para seguir fomentando el cambio en cada uno de los componentes y sectores energéticos en el país.

La Colombia no interconectada

Pedro Bejarano Silva

Economista de la Universidad de los Andes, cuenta con una maestría de Política Pública de la Universidad de California, Berkeley. Actualmente se desempeña como director general del Instituto de Planificación de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas. Fue subdirector de Gestión de Análisis Operacional en la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), subdirector de financiamiento de otras entidades y funcionario de seguimiento, saneamiento y cartera en el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Además, fue jefe de la Oficina Asesora de Planeación en la Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas, y se desempeñó en la Secretaría Distrital de Planeación como subsecretario y director de Planes de Desarrollo y Fortalecimiento Local.

Este capítulo trata sobre la Colombia no interconectada. Lo primero a lo que quiero hacer referencia es a una corta caracterización de a qué territorio nos referimos. Estamos hablando del 53 % del territorio nacional, o sea un 10 % más grande que España, un 60 % más grande que Alemania e, inclusive, dos veces más grande que Ecuador; en ese territorio hay 1916 localidades.

¿Quiénes habitan la Colombia no interconectada? Es muy importante tener en cuenta que la población que allí habita es una población bastante heterogénea, pluriétnica y multicultural, pero también con unas características muy complicadas a la hora de buscarle soluciones energéticas, como su dispersión y lo aislados que se encuentran sus habitantes. En estas regiones hay muchas riquezas que, paradójicamente, son de difícil acceso debido a la complejidad de sus características geográficas y su poca infraestructura de transporte.

Alrededor del 87 % de las localidades son las que llamamos de tipo 3 y 4, es decir, localidades que tienen menos de 150 habitantes. En estas localidades se presta hoy un servicio de energía de menos de cinco horas diarias. No obstante, cuando hablamos de pensar en seguridad energética para Colombia, una las oportunidades que puede haber en las zonas no interconectadas es el uso de fuentes no convencionales de energías renovables; dada la dependencia de combustibles líquidos que tienen estas personas, la posibilidad de llevarles energía limpia y con un mayor número de horas de las que disponen actualmente, sería una intervención de gran significado.

Muchos se han referido a los potenciales energéticos que hoy tiene Colombia, incluso mucho mayores que países que tienen más avances en términos de desarrollo eólico y solar, como es el caso de Alemania, por poner un ejemplo. Esto debe hacernos considerar lo importante que sería materializar proyectos en la Colombia no interconectada. Pero, para hacerlo, el primer paso es entender quiénes habitan allí y cuáles son sus necesidades. Casi la totalidad de esos habitantes son de estrato 1, personas que en su mayoría son propietarios de los predios que habitan, pero estos predios son bastante limitados en términos de su infraestructura, con casas de paredes básicamente de madera, techos de paja, en pocas ocasiones de teja, y con unas carencias en servicios públicos bastante dramáticas. Un dato de referencia en el tema de acceso y conectividad es ilustrativo: apenas una tercera parte de estos habitantes usan teléfono móvil y obviamente eso representa una medida de subdesarrollo, y ni qué hablar del tema de acceso al agua potable y al tema que nos compete, que es el de la energía.

Adicionalmente, sus limitaciones en el uso de combustibles para cocción de alimentos son dramáticas, pues, al carecer de energía eléctrica, utilizan mayormente la leña. Hay unas 500.000 viviendas sin servicios, y más o menos dos terceras partes de ellas se podrían ubicar en las zonas no interconectadas. Como puede verse, es urgente encontrar soluciones, para lo cual se necesita la participación de diferentes actores, como el Estado, la academia, la industria, la comunidad internacional, la banca multilateral, entre otros, además, claro está, de la misma comunidad. Es indispensable cerrar esta brecha y cumplir el objetivo de la universalización energética.

La nación, en el campo minero-energético, no solo debe utilizar fondos públicos, sino participar en múltiples fondos privados y desarrollar esquemas de finanzas sostenibles que permitan vincular otros actores para acelerar este proceso. La participación, desde el punto de vista de control que hace la Superintendencia de Servicios Públicos, es muy importante y, en ese sentido, la propuesta de crear un instituto de energía es justamente algo que puede funcionar como un catalizador muy importante en este ejercicio. Pero, obviamente, la academia debe involucrarse con la incorporación de mayores tecnologías y procesos de investigación, desarrollo e innovación.

Los pilares de la política de seguridad energética en Colombia

Luis Julián Zuluaga López

Director (e) de la Unidad de Planeación Minero-Energética. Es oriundo de la ciudad de Manizales y cuenta con estudios de pregrado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Manizales. A nivel de posgrado, tiene una maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Wisconsin, Estados Unidos.

En el ámbito laboral, tiene experiencia de 20 años en el sector eléctrico, en las áreas de planeamiento energético y eléctrico, operación, despacho económico, transacciones de mercado, análisis posoperativo, planificación energética y eléctrica y desarrollo de soluciones de software *para mercados eléctricos.*

Se ha desempeñado como gerente de operaciones del Organismo Coordinado de Sistema Eléctrico de República Dominicana y gerente de negocios de la firma MVM. A nivel nacional, ha estado vinculado con empresas como ISA y XM, y en el sector académico se destaca su experiencia como docente en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UNAPEC) y la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, ambas en República Dominicana.

Muchas gracias al Congreso, al CAEL y al senador Agudelo por la invitación.

Este foro es sumamente importante, pues seguramente puede ayudarnos a encontrar la dirección para la transformación que requerimos y para trabajar la seguridad energética del país.

Nuestra política energética ha estado fundamentada y tenido como objetivo la seguridad en ese sector. Esta política tiene tres pilares sumamente importantes, que son los costos asequibles de los energéticos para la población, la seguridad y confiabilidad de suministro y la garantía de la sostenibilidad. Es muy importante que tengamos presente esta política porque tenemos que seguir trabajando en estos aspectos para garantizar la continuidad de nuestros servicios energéticos.

Esta política debe fundamentarse en las decisiones sustentadas en información, y por ello la transformación digital juega un papel sumamente importante. Necesitamos medidores inteligentes que nos den las tendencias de consumo, que puedan poner al usuario en la mitad de la integración de los energéticos, tomando decisiones para tener un servicio más asequible y con mejor calidad; la diversificación de la matriz es clave, y las energías renovables no convencionales juegan un rol importante.

En Colombia tenemos unos recursos bastante considerables en términos de estas energías en La Guajira, y creemos que seguir promoviendo estas fuentes de energía es una de las claves en nuestra política energética, y que la diversificación de la matriz es uno de los principales factores que pueden garantizarnos la sostenibilidad en el mediano y el largo plazo.

Es necesario entonces que tengamos una participación de las entidades del Estado, de la inversión privada y de los entes de conocimiento para que podamos unir esfuerzos y crear una ruta que nos permita lograr esta sostenibilidad requerida.

Aquí es importante entender que nuestra política energética, para lograr la sostenibilidad y la seguridad energética, requiere que tomemos lo bueno de lo que ya hemos construido y que adaptemos estos esquemas de mercado para lograr una mejor competencia y para integrar nuevas tecnologías que nos permitan disminuir el precio del servicio.

Es sumamente clave que asumamos responsabilidades y que nos comprometamos con acciones claras y con fechas establecidas, y que le rindamos cuentas al ciudadano sobre el cumplimiento de esas metas para que logremos implementar esos planes en el tiempo que se requieran. Enfatizo nuevamente en la necesidad de tener sinergias entre empresa y Estado y academia, con las cuales se definan con oportunidad los proyectos que se requieren para el país y se pueda fomentar la innovación, que es clave para el desarrollo de este sector minero-energético.

Es importante, además, que le demos al usuario las herramientas para que, a través de esta transformación digital, pueda interactuar con los mercados y lograr mejores precios de sus energéticos.

Quiero decirles, para finalizar, que debemos incorporar esquemas en nuestra planificación, en nuestra regulación y en nuestra operación para poder asegurar la sostenibilidad energética en el futuro.

TERCERA PARTE

EXPERIENCIAS Y LECCIONES INTERNACIONALES SOBRE SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA

The key to energy security in Colombia in the short and medium term

Michael Pollitt

Michael Pollitt is professor of Business Economics at the Judge Business School, University of Cambridge. He is an assistant director of the university's Energy Policy Research Group (EPRG) and a fellow and director of Studies in Economics and Management at Sidney Sussex College, Cambridge.

He is a former external economic advisor to Ofgem. He is a member of the editorial board of the Review of Industrial Organization, Competition and Regulation in Network Industries, Utilities Policy and The Energy Journal. He was a founding co-editor of Economics of Energy and Environmental Policy.

His research interests include productivity analysis, measurement of economic reform impacts and future electricity and carbon market design and regulation. He has a Ph. D. from the University of Oxford.

For the development of the audience, we allow ourselves to suggest the following guiding questions:

1) For you, what are the aspects that your sector considers key to energy security in Colombia in the short and medium term?

   In the UK energy system, competitive wholesale markets have been the key to energy security, coupled with strong incentive regulation of quality of service in electricity and gas networks.

   Gas and oil are supplied by international markets and the UK has been very successful in tapping multiple sources of supply and accessing these at world prices. We have transitioned away from our own natural gas –which is still significant– towards a mixture of pipeline gas from Norway and LNG. This has been done by market forces causing investment in both pipelines and LNG facilities. The energy sector in the UK is owned by multiple, substantially overseas, players.

   In electricity and gas networks, what matters are strong incentives to reduce outages and leaks. In electricity quality of service –both the number and length of interruptions– has fallen because of the strong revenue incentives to reduce them faced by the network companies under our incentive regulation (both under RPI-X and the new RIIO systems of regulation).

   Electricity distribution companies must pay compulsory non-delivery penalties directly to their customers are off supply for 12 hours.

2) Do we consider that the determining strategies for the consolidation and articulation of the capacities of the energy community in Colombia, through the creation of an Energy Institute? And, what are the needs of the institutions of said institute to contribute to energy security in Colombia?

   In the UK we had an Energy Technologies Institute which had 10 years funding to promote extra effort in energy R+D, which was not a great success in promoting energy technologies and has now been wound up. There is much talk of trying to replicate the US system of national energy labs and also to build on the DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, in the US) model and some academics do support this idea. However, the US has the scale to benefit from national laboratories and crucially a large national market to take ideas from these national efforts and commercialize them within the US (and a well-established funding system for commercialization). My view is that only China and India can benefit from them in a similar way to the US and that a largely distributed promotion of energy research is likely to be better for most countries (via universities and specialist research companies competing for funding).

   I don’t think energy security has much to do with research per se, but is largely a function of incentives as under 1 above.

3) Personal considerations regarding energy security in Colombia

   My strong view is that energy security can be an excuse for very unhelpful parallels to be drawn between defense and energy. Energy is for everyone and it is best secured by appropriate market incentives. In general, it is not helpful when military

analogies are used. The countries that don't particularly worry about energy security but rely on market-based incentives have the highest energy security.

Do Denmark, Belgium or New Zealand worry much about energy security? Of course not, they have well-functioning energy markets and participate in the international trading system which benefits everyone. What were the energy security aspects of the Japanese Fukushima nuclear disaster? Japan's own internal energy security policies –which included relying on old nuclear power plants and vertically integrated regional utilities– failed and it had to rely in the international market for natural gas to bail it out –which it did.

Message from Japan on energy researches

Kiyoharu Tadanaga

Ingeniero químico de la Universidad de la Prefectura de Osaka e ingeniero molecular de la Universidad de Kyoto. Se desempeña como profesor de la Universidad de Hokkaido. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con nanotecnología, materiales, materiales inorgánicos y propiedades físicas.

---

1. Academic exchange between Hokkaido University and Universidad de Antioquia

The Inorganic Synthesis Chemistry Laboratory of Hokkaido University, Japan, is a group doing researches on synthesis and development of novel inorganic materials, and recently, materials for energy applications such as fuel cells and all solid-state lithium batteries are actively studied.

In our laboratory, a researcher from Colombia is now appointed as assistant professor (Prof. Rosero Navarro). One colombian student finished her Ph. D. degree in march 2020, after three years (and half) of her Ph. D. study, and she is now a post-doc researcher at Hokkaido University.

The academic exchange agreement has been concluded between Faculty of Engineering of Hokkaido University and Universidad de Antioquia with great efforts of professor F. Mondragón of Universidad de Antioquia. Based on this agreement, the lab accepted 3 students of Universidad de Antioquia, as short term stay student in 2018 and 2019. We are collaborating with researchers in Universidad de Antioquia, and we have already published two research papers [1, 2], and some papers are in preparation.

In 2017, I was invited to Universidad de Antioquia, and stayed one week at Medellin. In 2018 and 2019, Hokkaido University supported the program so-called "Learning Satellite Program" at Universidad de Antioquia, under the collaboration agreement between Hokkaido University and Universidad de Antioquia. In this program, Professors and students of Hokkaido University visited Universidad de Antioquia for one week, and Professors from both Hokkaido University and Universidad de Antioquia give lectures to students from Hokkaido University and Universidad de Antioquia. Topic of lectures was "The role of advanced inorganic materials in clean energy and clean environment". I, Prof. Rosero and 4 students, visited Medellin in 2018, and Prof. Shimada, Prof. Rosero and 4 students visited there in 2019. We believe that students from both Japan and Colombia were very inspired by this program.

This year, we planned to invite a professor of Universidad de Antioquia to Japan, for giving lectures to students in Hokkaido University and other universities. However, because of covid-19 problem, the lecture has been postponed to 2021. We are very looking forward to the lectures, and would like to continue our academic exchange between Hokkaido University and Universidad de Antioquia.

We believe that the student and researcher exchanges or collaborations between Japan and Colombia must be very important to solve global energy problems. Through these exchanges, we can realize the global issues in energy developments.

2. The scheme for energy researches in Japan

The scheme for energy researches in Japan is shown in scheme 1. Energy researches are supported by both Ministry of Economics (METI), and Ministry of Education (MEXT).

METI (Ministry of Economy) has a Founding agency called NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) [3], and national research

institutes called AIST (The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology).

MEXT (Ministry of Education) has Founding agency called JST (Japan Science and Technology Agency) [4], and national research institutes such as RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research) and NIMS (National Institute for Material Science).

Because JST is the funding agency of Ministry of Education, JST basically supports rather basic researches in Universities and Research Institutes. On the other hand, NEDO supports rather advanced researches in industries, research institutes and universities. For example, in the research on batteries, researches on next generation batteries are basically supported by JST, and researches close to practical applications are supported by NEDO under collaboration between industries, research institutes and universities. These supports from fundamental research to advanced one surely contribute to the development of new generation batteries, and these batteries must be a key component for sustainable society with renewable energies.

3. Conclusion

I believe that strengthening and strong supports for the researches and researchers in energy filed in universities, establishment of national research institutes must be very important in promoting energy policy. I hope this information helps for the planning of energy policies and development of energy researches in Colombia.

References

[1] Ramírez D., Suto Y., Rosero-Navarro NC., Miura A., Tadanaga K., Jaramillo F. Structural and electrochemical evaluation of three and two-dimensional organohalide perovskites and their influence on the reversibility of lithium intercalation. *ACS Inorg. Chem.* 57, 4181-4188 (2018).

[2] Fujii Y., Ramírez D., Rosero-Navarro NC., Jullian D., Miura A., Jaramillo F., and Tadanaga K. "Two-dimensional hybrid halide perovskite as electrode materials for all-solid-state lithium secondary batteries based on sulfide solid electrolytes". *ACS Appl. Energy Mater*. 2, 6569-6576 (2019).

[3] https://www.nedo.go.jp/english/introducing_index.html

[4] https://www.jst.go.jp/EN/about/

Recommendations on establishment of National Energy Institute in Colombia

Heon Jung

Heon Jung leads a research group that develops coal to liquids (CTL) processes. Much of the group's effort is concentrated on developing superior Fischer-Tropsch catalysts, and on the design of FT reactors. The group operates several small syngas-to-liquids reactor systems, and a large (15 barrels/day) pilot-scale CTL plant.

Dr. Jung obtained both B. S. and M. S. degrees from the Chemical Engineering Department of Seoul National University in Korea and a Ph. D. from Washington State University in the USA. After three years of research experience at the University of Pittsburgh, he joined the Korea Institute of Energy Research in 1994. He has been involved in many research areas, with an emphasis on catalysts and reactor development. Since 2007, Dr. Jung has managed a $30 million coal-to-liquids research program. He also served as the Head of the Clean Fuel Department, and as the director of the New and Renewable Energy Research Division at KIER.

National lab on science and technology has following major roles.

1) Policy advice to the government
2) In-house technology development for the industry
3) National hub for researchers including university professors
4) Human resources development in the field including training and education

Without the national lab, scholars at the university provide above roles. Since professors can only do the job on the part time basis, a country may need a group of professionals fully dedicated to the institute to guarantee the quality service and unbiased advices.

However, there is a possibility that the persons of the national lab become bureaucratic over the period of time. Moreover, research activities might be directionless. Thus, the National Institute needs to be designed very carefully to avoid those possibilities.

Energy has diverse sectors. For example, fossil fuel and its environmental cleanup, renewable energy, energy efficiency and nuclear energy (please refer to the organization chart of Korea Institute of Energy Research). Nowadays many convergence activities are taking place between those sectors.

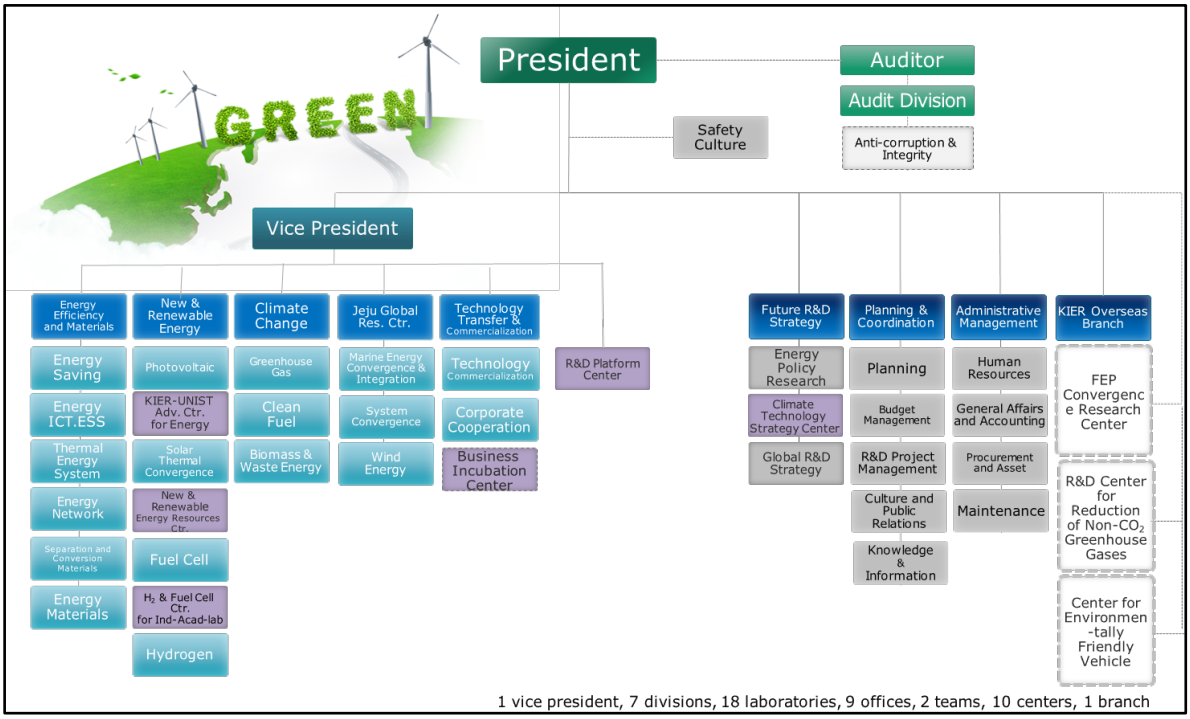


Figure 1. Korea Institute of Energy Research organization as of 2018

Based on more than twenty years of my experience at Korea Institute of Energy Research, I would like to offer the following recommendations to Colombia for the possible establishment of national energy institute.

1) The most important role should be the policy advice to the government. Energy policy should be the biggest division and specialists responsible for each energy sector will provide analysis.

2) In-house research should be carried out limitedly initially. The institute should be the hub and utilize outside specialists (including foreign ones) to carry out necessary research. The long-term goal of the in-house research will be providing the platform

of scale-up development. Another goal is to have top-class researchers of narrow fields by providing stable funds for long periods.

3) The number of permanent employees should be small to avoid bureaucratic tendencies. I encourage to install flexible/agile research groups depending on the need.

I would like to offer more advices to the Colombian government when establishing national energy institute in Colombia.

El papel de la electricidad en el futuro de la seguridad energética

Fereidoon Sioshansi

Es fundador y presidente de Menlo Energy Economics, firma consultora del sector energético con sede en San Francisco, California. Es también editor del boletín mensual Eenergy Informer, con amplia circulación internacional. Su experiencia académica incluye títulos en ingeniería y economía, con un Ph. D. en Economía de la Universidad de Purdue.

Sería justo decir que los tres mayores impulsadores de cambio en el sector energético son la descarbonización y la descentralización, junto con la electricidad. Si queremos afrontar seriamente los problemas del carbón, tenemos que revertir la economía hacia la electricidad, y electrificar lo más que podamos. Pero, en la medida de lo posible, toda la electricidad debería venir de fuentes renovables. Creo que esto es el mensaje principal que muchos países y el estado de California están tratando de lograr. California está tratando de llegar a una economía neutral en carbono para el año 2045 y Europa, el Reino Unido y otros países también están tratando de hacer lo mismo para 2045-2050.

Ese es el camino hacia adelante si Colombia quiere unirse a este tipo de iniciativa. Puedo compartir con ustedes tres puntos importantes en el sector eléctrico, que creo vale la pena anotar. El primero es que, en el pasado, los consumidores, cuando se trataba de electricidad, típicamente tenían solamente una opción, consistente en comprar servicios de un monopolio y pagar la tarifa, y ese era el final del asunto, pero creo que eso va a cambiar, tal como está ocurriendo ya en California y muchos otros sitios en el mundo; al respecto, los consumidores tienen ya más opciones. Segundo, creo que es importante decir que, en la medida de lo posible, los reguladores y los artífices de políticas, tales como ustedes y el Senado colombiano, deberían tratar de promover la innovación. Y tercero, es que, si ustedes apoyan los dos puntos anteriores, terminarán teniendo nuevos modelos de servicios de negocio, especialmente en la entrega de servicios en el sector eléctrico.

Voy a hablar brevemente de estos tres puntos: el primero, como mencioné, es que el costo de producir electricidad de paneles solares, como ustedes saben, está bajando muy rápidamente. Puedo entonces imaginar un futuro en el que la mayoría de los lugares, tales como viviendas y edificios en general, tendrían en el techo, y tal vez en sus fachadas, paneles solares; cuando los consumidores hagan este tipo de inversión y empiecen a generar su propia energía, se llamarán, en lugar de consumidores, prosumidores.

En California tenemos ya 700.000 de estos prosumidores, en Australia tienen más de un millón y en Alemania aproximadamente lo mismo, así que los consumidores con el tiempo se convertirán en generadores de energía en términos de que producirán más energía de la que pueden consumir. Pero cuándo produzcan más de lo que consumen, ¿qué van a hacer con el exceso? Pueden cargar su vehículo eléctrico si tienen uno, de manera que el transporte se va electrificando. El siguiente paso podría ser la inversión adicional en baterías, por ejemplo, un garaje con tres baterías de Tesla. Con esto estoy tratando de mostrarles la idea de que una vez el consumidor se vuelve prosumidor en almacenamiento, como en baterías, se convierte en un prosumidor con almacenamiento. Esto es importante porque entonces no solamente pueden generar su propia energía, sino que pueden almacenarla y utilizarla.

Regresando a la regulación, quería mostrarles algo que tal vez ustedes ya tienen en Colombia en cierta medida. El estado de California, a principios de este año, implementó una regulación que se llama "cero energías netas", que consisten en nuevos edificios residenciales, construidos empezando este año, que tienen que generar tanta energía como consumen, y la idea es que, a medida que vamos hacia adelante, queremos construir edificios que consuman menos y produzcan más.

En algún momento la producción y el consumo se iguala y así es como llegamos a cero energías netas. Para una economía, como por ejemplo todo el estado de California, las residencias, los comercios, y tal vez en algún momento las industrias, podrán llegar a ser autosuficientes. Al hacer esto se reducen las emisiones, se reduce la necesidad de usar energía y se recortan las emisiones; esto es una forma muy eficiente y muy limpia de generar energía.

Para terminar mis comentarios, quiero mencionarles lo siguiente: tal vez ustedes recuerden que hace unos años hubo un avión impulsado por energía solar, llamado *Solarclips,* volando sobre el puente Golden Gate en San Francisco. Este avión motivó la imaginación, es decir, se convirtió en un prosumidor de verdad; voló alrededor del mundo sin combustible, generando poder de los paneles solares y del viento, almacenando energía de noche, de manera que cuando aparecía el Sol, podía seguir volando. Es, realmente, un ejemplo de una unidad autocontenida, que nos indica que estamos llegando al punto en que la tecnología puede producir, generar y almacenar energía en el mismo dispositivo, independientemente de la red eléctrica; es, sin duda, un desarrollo muy emocionante.

Creo que Colombia podría adaptar su regulación y sus políticas para impulsar este tipo de desarrollos, de manera que los consumidores produzcan, almacenen y, tal vez, compartan energía renovable verde y limpia desde su residencia, para el bien de su comunidad.

Carborrefinería integral e integrada: aprovechando el pasado para asegurar el futuro

Ljubisa R. Radovic

Ingeniero químico de la Universidad de Belgrado y Ph. D. Fuel Science (Materials Science and Engineering) de la Universidad de la Penn State University. Se desempeña como catedrático de Ingeniería Energética y Mineral en la Universidad Estatal de Pensilvania. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería energética, carbón y ambiente.

Hoy quiero proponerles la virtud de la carborrefinería integral e integrada, hecha realidad en el Instituto Nacional de Energía.

Me explico. En los tiempos de crisis, como los del cólera o del coronavirus, el mundo suele acordarse de John Maynard Keynes para buscar soluciones a sus problemas financieros. Es menos sabido que el talento filosófico de Keynes también causaba admiración en su tiempo.

Para nosotros es importante recordar hoy una de las frases sabias de Keynes, al reflexionar sobre las virtudes de lo que él llamaba el "maestro-economista": "Debe estudiar el presente a la luz del pasado con los propósitos del futuro". Esta receta para el éxito suena bien en todas las profesiones; por eso, es lamentable que, en la ciencia y la ingeniería, el ritmo arrollador de la vida cotidiana no nos permite aplicarla, ni saber cuándo ni cómo deberíamos hacerlo.

La oportunidad que se presenta hoy, en esta ilustrísima audiencia, nos llena de optimismo porque cumplir con la receta para la seguridad energética puede ser relativamente sencillo, si se cuenta con la debida voluntad política. Y la receta es la misma de Keynes, si sustituimos el "maestro economista" por nuestra "palabra mágica": la carborrefinería. Este concepto se puede hacer realidad a corto y mediano plazo si se aprovecha la experiencia centenaria de la refinación de carbón y petróleo y se sigue perfeccionando la iniciativa incipiente de refinación de biomasa forestal o agrícola.

La carborrefinería es el lugar donde se produce la refinación de carbono en todas las fuentes energéticas que lo contienen, sean fósiles (gas natural, petróleo y carbón) o renovables (biomasa forestal y agrícola), sean en estado líquido, gaseoso o sólido. Es importante recordar que la industria química nació con el carbón, y no con el petróleo, como su principal materia prima. Con el tiempo, tal como el carbón ha ido desplazando la madera desde hace 200 años (pero ¡ojo!, no remplazando sino desplazando) y el petróleo y el gas natural han ido desplazando el carbón desde hace cien años, todos los combustibles fósiles serán desplazados por las energías renovables, entre ellas la biomasa o la "nueva" madera.

Pero tales procesos se demoran muchísimos decenios, y mientras tanto hay que encontrar soluciones coyunturales, como la energía abundante, asequible y limpia para todos los ciudadanos en los próximos 50 años. La carborrefinería integral e integrada ofrece tal solución porque la ciencia, que es su sustento, sí evoluciona, y afortunadamente no requiere sustituciones.

Simplificando, pero sin tergiversarla, esta ciencia se puede resumir de la siguiente manera, representando gas natural como metano (CH_4), petróleo como octano (C_8H_{18}) y carbón o biomasa como una proporción de átomos orgánicos en una macromolécula con respecto a cien átomos de carbono: al carbono hay que agregarle oxígeno e hidrógeno (en diferentes proporciones, y el hidrógeno, que por cierto no crece en árboles, en forma de agua) para convertir cualquier combustible tradicional, incluso el más sucio, en combustibles muy limpios y también en nanomateriales de carbono puro (diamante, nanotubos, grafeno…), siendo estos últimos las estrellas de nuestro siglo de la nanotecnología pues están transformando las industrias electroquímica, fotónica y de construcción (en baterías, en celdas combustibles y solares, y en turbinas eólicas).

En el campo de las tecnologías, factibles, pero a la vez innovadoras, no hay que reinventar la rueda: un instituto de energía es *sine qua non*, porque solo en tal organización, liderada por académicos de primera línea –y Colombia es afortunada de tenerlos–, la mano derecha sabrá lo que está haciendo la mano izquierda.

En su ambiente multi e interdisciplinario, con mínima burocracia y su gente enfocada en un objetivo claro y común, de aprovechamiento integral de los recursos energéticos nacionales, con las ciencias e ingenierías integradas, estas analogías entre los procesos conocidos, como la refinación de petróleo, se pueden aprovechar y optimizar, por ejemplo, en nuevas tecnologías para refinar el carbón o la biomasa, buscando sinergias, disminuyendo costos y aumentando probabilidades de comercialización. Para Colombia –con petróleo cada vez más pesado y producción decreciente, con exportaciones de carbón cada vez más complicadas, y que puede verse obligada a seguir importando gas natural licuado– no es fácil ver una solución más adecuada y más oportuna.

De esta manera, también la patria del "Cervantes del siglo XX" hará una demostración palpable de su intención de reducir la "huella de carbono". Sabemos muy bien que esta ya se ha convertido en el principal criterio de productividad económica sustentable, no solo en el transporte, sino también en la alimentación y en los más variados artefactos domésticos que tanto nos gustan.

Los tiempos de crisis son oportunidades para que nazca un nuevo Gabo y nos cuente de nuevo sobre Fermina Daza y Florentino Ariza, pero que también nos ayude a creer que nuestra estirpe no está condenada a cien años de soledad. La creación de tal instituto de energía, que estoy seguro el mismo Keynes aplaudiría, es nuestra oportunidad sobre la Tierra: sería la demostración pública, no por cierto aquella truculenta de lo que Melquíades llamaba la octava maravilla de los sabios alquimistas de Macedonia, sino de vuestra visión acertada del siglo XXI, con seguridad energética, económica y social para Colombia y el mundo.

La experiencia en investigación en los Estados Unidos como marco para el desarrollo de la seguridad energética en Colombia

Juan Pablo Correa Baena

Fue investigador postdoctoral en el grupo del profesor Tonio Buonassisi, y estuvo dos años como investigador postdoctoral en el École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Originario de Colombia, realizó sus estudios de educación superior en la Universidad de Connecticut (Estados Unidos). Su trabajo de doctorado se centró en el estudio de materiales porosos de óxidos metálicos, en particular, aerogeles conductores transparentes, y su uso en células solares sensibilizadas con colorante. En la EPFL trabajó en la investigación de células solares de perovskita. Ahora es profesor asistente en Georgia Tech.

Estamos aquí para hablar sobre la seguridad energética para Colombia y, bueno, yo voy a hablar desde una perspectiva un poco diferente, porque estoy trabajando en este momento en los Estados Unidos y allí tenemos el Departamento de Energía, que da fondos para el tipo de investigación básica y básica aplicada. En este sentido, voy a contextualizarlos respecto a lo que hace Estados Unidos para financiar de este tipo de tecnologías.

Voy a empezar con el mapa del Departamento de Energía y cómo funciona el sistema. Tenemos al secretario de Energía y varias oficinas que trabajan para desarrollar diferentes áreas de prioridad en energía. Tenemos la parte nuclear y la Oficina de Ciencia Básica, que está encargada más que todo de darles financiación a laboratorios nacionales. Hay 17 laboratorios nacionales que están enfocados en energía en varias partes dentro de los Estados Unidos.

Tenemos también la parte de transición de ciencia básica a la parte aplicada, o sea esa parte de la energía que se denomina "energy efficiency and renewable energy", enfocada principalmente en mejorar la eficiencia del gasto de energía y también en la inversión en renovables. Luego está la parte de la ciencia de la industria, que se llama ARPA–E, que se encarga de lograr que la ciencia que se hace en los laboratorios pase a la industria. Como podemos ver, disponemos del retorno de la inversión de la ciencia básica, que es de 20 a 30 años. Luego está el retorno a la inversión de la transición de ciencia básica a la básica aplicada, que es 5 a 10 años, y a la parte de la industria, que es entre 5 y 8 años.

Así pues, el presupuesto total del Departamento de Energía es de 35.700 millones de dólares, de los cuales el 20 % está dedicado al desarrollo y la investigación, lo que corresponde a alrededor de 7300 millones de dólares. Al desglosarlo, podemos darnos cuenta de que, de esos 7200 o 7300 millones, una menor porción va a la parte de energías renovables (solar, viento, geotermal e hidráulica) y a otras áreas, por ejemplo, el transporte, la eficiencia en energía, la energía nuclear y la captura de CO_2 para mejorar las emisiones. Luego está la parte de energía básica, que es bastante grande, y un poco menos la energía solar (por ejemplo, en mi laboratorio, en el que se hace bastante ciencia básica, se enfocan en recoger fondos para la ciencia básica, que es una gran parte del portafolio).

La ciencia básica tiene un presupuesto de 2,8 billones, mientras que la transición de ciencia básica a ciencia básica aplicada es de 4,1 billones, y en la parte de la industria es un poco menor. Por otro lado, Estados Unidos invierte en investigación de energía el 0,03 % del PIB; el más grande que hay ahora en este aspecto es China, pero hay varios países europeos que están invirtiendo bastante en investigación.

Ahora bien, ¿cómo se distribuyen los fondos? En Estados Unidos, estos fondos se distribuyen específicamente en el Departamento de Energía, enfocándose en la ciencia básica, y son subvencionados por el Gobierno. Además, la demostración y el despliegue también son subvención del Gobierno, pero van a empezar a brindar incentivos fiscales, porque con dicha demostración y despliegue empieza a intervenir la industria, y cuando se tiene a la industria, podemos empezar a darle incentivos fiscales con el fin de que tengan razones para adoptar estas tecnologías. Como había dicho antes, la investigación y el desarrollo son subvencionados solamente por el Gobierno; la inversión viene más que todo de la ciencia básica, que es la más riesgosa, ya que se demora más tiempo, entre 20 y 30 años en revertir sus beneficios.

Finalmente, me permito presentar unas imágenes de mi laboratorio, de las cosas que hacemos y de los equipos del Gobierno que utilizamos. Por ejemplo, este es un sincrotrón en Illinois, en el que se pueden ver rayos X que pasan a través de un circuito. Estos son equipos que utilizamos para intentar entender los materiales que hacemos (por ejemplo,

podemos ver una celda solar que fabricamos en los laboratorios), y estos otros son laboratorios que tenemos en el Georgia Tech, que son facilitados por fondos de la ciencia aplicada básica y aplicada del Gobierno, pero también la ciencia aplicada está dando fondos para el personal y para estudiantes de pregrado, doctorado y postdoctorado.

Integración de energías renovables a la matriz energética de Colombia: algunos modelos aplicados en otras partes del mundo

Arunachala Mada Kannan

Es profesor en la Escuela Politécnica, una de las escuelas de Ingeniería Ira A Fulton en la Universidad Estatal de Arizona. Ha estado involucrado en la investigación y el desarrollo de pilas de combustible y baterías durante más de 30 años. Sus áreas de especialización e intereses de investigación incluyen pilas de combustible (PEMFC, DMFC y AFC), baterías (SLA y Li-ion) y células solares (DSSC y CSP). Se unió a ASU en 2005 como profesor asociado. Es profesor y director del programa de posgrado en ingeniería de la escuela politécnica Irafulton desde 2014.

Yo tuve una oportunidad hace unos años de estudiar en la Universidad, y en este escenario actual de seguridad energética en la cual Colombia ha sido líder, la cual he estado siguiendo, he tratado de proponer algunas formas o presentarles a ustedes unas ideas sobre cómo integrar energías renovables, como la eólica y la solar, a la matriz de este país, utilizando los modelos que ya hemos conocido en otras partes del mundo.

Tengo algunos detalles en internet de lo que hemos investigado. Considerando estos datos generales, podemos ver que tenemos buena cantidad de cada uno de los tipos de energía, en equivalentes de megavatios. Si miramos la mezcla o la matriz de energía desde 1990 hasta 2000, nos damos cuenta de que todavía se incluye bastante carbón, aunque su porcentaje probablemente ha estado bajando.

El gas natural está aumentando y probablemente representa un porcentaje mayor. Los biocombustibles también son importantes y están aumentando, y ciertamente el petróleo es el líder entre estos recursos en las últimas tres décadas. En esta gráfica que les presento no se pueden ver los números exactos, pero los porcentajes a los que aludo son relativamente pequeños.

Como vemos, el consumo de energía *per capita* es alrededor de 1,5 horas megavatio, lo cual está un poco por debajo de la media, pero se ha duplicado en los últimos 20 años. En el mismo contexto, pude examinar el Plan de Energía del 2013, que fue publicado por el ministro de Energía Económica. En ese plan se establecen los recursos de energía del país para asegurar que esté disponible en términos de plantas de energía y de ampliación de los planes de energía, de acuerdo con las metas que se han fijado en el país. Basado en ello, lo que quiero proponer hoy es una economía de hidrógeno, y la forma como esto se puede lograr es aumentando la densidad energética, que está como en 39.000 horas kilovatio por kilo, que es como tres veces lo que se puede lograr con gasolina, y cuatro o cinco veces lo que se puede lograr con carbón.

El hidrógeno es posiblemente la primera opción mirando hacia el futuro en términos de intensidad de energía disponible. Ustedes pueden preguntarse entonces por qué el hidrógeno en lugar de baterías. La razón es que, como pueden ver en la parte de abajo de la gráfica que muestro, las baterías de litio y las de ácidos representan partes muy pequeñas en términos de densidad de energía comparadas con el hidrógeno. Como ya dije, el hidrógeno tiene la mayor densidad de energía en términos de peso. Con esto en mente, ustedes pueden preguntarse cómo sería una economía de hidrógeno en Colombia, y la respuesta es que tendría que aumentarse el consumo de energía en los sectores del transporte, la industria, el residencial y el comercial. La idea, entonces, es generar hidrógeno por electrólisis del agua, utilizando la electricidad eólica, la solar y la proveniente de hidroeléctricas, todo lo cual ustedes tienen abundantemente.

Una vez que ha sido generado, el hidrógeno se puede almacenar y puede ser transportado fácilmente y distribuido a las regiones, y también se puede utilizar para solucionar emergencias de energía térmica; esta tecnología puede apoyar todos los otros sectores y se puede generar desde cualquiera de las fuentes tradicionales o renovables. Se puede utilizar también, por ejemplo, para mover turbinas. El hidrógeno, entonces, podría reemplazar lentamente a los hidrocarburos, y eso es lo que quiero proponer hoy aquí en Colombia hacia el futuro.

En la gráfica pueden ver que hay tres diferentes etapas: en la etapa actual, el 95 % del hidrógeno se usa solamente para transporte; todavía hay bastante gas, pero eso va a cambiar a mediano plazo, pues va a ser reemplazado por el hidrógeno generado, y a largo

plazo por energías renovables. Por eso, el país debe empezar desde ahora a prepararse para utilizar el hidrógeno y hacerlo parte de su mezcla de energía mirando hacia el futuro.

De hecho, a mediano plazo se ve que algunos de esos usos corresponden al transporte, bien sea en trenes o en vehículos para carreteras o en navíos. En cualquiera de estos usos se incluye, por ejemplo, el manejo de mezclas de etanol y alcohol. Como ya dije, una vez que ya está en su sitio la economía de hidrógeno, se puede utilizar para muchas aplicaciones, como termales y aeroespaciales.

Tenemos que pensar en todo esto, porque ahorita es el momento de empezar a aplicar esta energía renovable de hidrógeno con estas aplicaciones. Necesitamos tener estas posibilidades en cuenta para lograr una Colombia sostenible, a medida que tratemos de establecer seguridad energética y queramos desacelerar la dependencia de hidrocarburos.

El marco energético europeo y español respecto a Colombia: algunos elementos comparativos

Magín Lapuerta
John Ramiro Agudelo Santamaría

Es catedrático de la Universidad de Castilla La Mancha en mecánica aplicada e ingeniería de proyectos. Es ingeniero industrial de la Universidad Politécnica de Valencia (España) y ha realizado estancias de investigación en la State University, en la Universidad de Toronto y en la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile.

El doctor John Ramiro Agudelo es docente investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia. Es ingeniero mecánico de esta institución, con doctorado de la Universidad Politécnica de Madrid en Ciencias Térmicas.

No podemos olvidar que estamos en un período de transición energética. Esto significa que tenemos el modelo de energía fósil hasta alcanzar un modelo de neutralidad climática, es decir, un modelo en el que las tensiones del efecto invernadero sean equivalentes a la fijación.

Esta transición energética lleva ya años en Europa porque una serie de directivas europeas han regulado el sector transporte, aproximándose hacia los objetivos de intervención de energías renovables. Estamos en la cuarta directiva; la primera se realizó en 2003, la siguiente en 2009, la tercera en 2015 y la última es de 2018. En esta se propone un 14 % de participación de la energía renovable en el sector transporte para 2030. En paralelo, la política española, con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, propone cifras en algunos casos todavía más ambiciosas. Además, desde la directiva segunda de las cuatro mencionadas, se clasifican los biocombustibles o los combustibles para el transporte en diferentes tipos.

Todos estos planes tienen además unos requisitos de ahorro de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, los convencionales en 60 %, y los residuales en no más del 7 %. Aparecen por primera vez, en la última directiva, los electrocombustibles, es decir, los combustibles procedentes de energía eléctrica renovable, producidos a partir de materias primas, como el agua y el CO_2.

También están los combustibles avanzados, que se deben proporcionar de aquí a 2030, bajo unos requisitos de ahorro de gases de efecto invernadero. Es importante señalar que todos los requisitos se plantean después de analizar su ciclo. Paralelamente a estas directivas, que tienen como objetivo el año 2030, hay otras directivas europeas de tipo climático, que apuntan a 2050, y en España se aprobó la semana pasada la Ley del Cambio Climático, que también apunta a 2050 la transición. Es decir, en ambos casos se plantea como objetivo que en 30 años se alcance la neutralidad climática.

La diferencia es que, como se ha visto, en las directivas europeas todos los objetivos se establecen con base en las emisiones de CO_2 equivalente en ciclo de vida y, sin embargo, la ley española de cambio climático da un paso más y establece limitaciones en emisiones de CO_2 directas de hecho en 2040. Se establece que estén nulas para los nuevos usos, tanto de transporte de vehículos de turismo como de comerciales ligeros, y en 2050 para el transporte pesado, lo cual significa que en 30 años el protagonismo de los biocarburantes habrá pasado. Esta apuesta es más agresiva y ambiciosa, pero desde luego tiene algunos interrogantes que es necesario discutir: por ejemplo, no resuelve o no contribuye a la resolución del problema de la eliminación de residuos, y además establece como objetivos mejorar la eficiencia del 40 %, aspecto muy discutible porque para eso haría falta dudosamente el respaldo tecnológico, y además una reducción del 35 % del consumo, para lo cual haría falta involucrar a la sociedad.

También establece, por primera vez, un calendario de renovación del sistema eléctrico. Europa está más retrasada que Colombia en ese aspecto, es decir, en hacer que el 74 % de la energía eléctrica en 2030 sea renovable y conseguir que por fin en el 2050 sea renovable el 100 %.

Sin embargo, hay contradicciones, como por ejemplo el hecho de que en este proceso de renovación de la energía eléctrica se cuenta con suficiente potencial, pues incluso con doblar la situación actual de la bioelectricidad, es decir, de la generación eléctrica a partir de la biomasa, no se consigue el objetivo planteado. Sin embargo, se restringe por completo a los biocarburantes. La cuestión que se puede plantear es por qué la bioelectricidad sí y, sin embargo, la biopropulsión no. Con la progresiva eliminación de los biocarburantes,

quedarían solamente los biocombustibles avanzados y los electrocombustibles, pero solo para el sector de la aviación, que al menos al día de hoy suponen 18 % del consumo energético del transporte.

Esta ley tiene dos aspectos buenos. Uno es que es valiente, es decir, es un paso decidido hacia la neutralidad climática. Lo otro bueno que tiene es que por fin se establece un calendario sincronizado entre la renovación de la energía eléctrica y el fomento de la electrificación en el transporte. Con esto dejo encima de la mesa el Marco Europeo Español, con un cierto espíritu crítico para que el profesor Agudelo lo aplique en la situación colombiana.

La pregunta que queda es si esta ley, aplicada al sector transporte en Europa, y particularmente en España, pudiera servir como referencia para Colombia, en tanto que en muchos escenarios de política se han tomado las directivas europeas y estadounidenses particularmente como referencia, sobre todo en el área que nos compete, que es la situación energética de transporte.

Por ejemplo, la normativa de contaminación europea, o Normas Euro, fueron adaptadas acá, y en temas de calidad de combustible son responsabilidad del Ministerio de Minas y Energía. Igualmente, lo son muchos de los parámetros de calidad, incluidos los que vienen de recomendaciones que se han hecho de la Unión Europea. Cabe entonces una reflexión para el sector transporte desde el punto de vista de seguridad energética, pues la convocatoria que hace ahora mismo el senador Iván Agudelo deja claro que es necesario para el país recuperar la seguridad farmacéutica, la seguridad energética y la seguridad alimentaria. Por esa razón, nos planteamos qué referente pudiera ser esta nueva normativa ambiental de transporte y qué representaría desde el punto de vista sostenible para nosotros en Colombia.

Sin duda, el sector transporte está en el centro. En mi opinión, tal como lo decía hace un momento la ministra de Minas y Energía, la doctora María Fernanda Suárez, este sector representa más de la tercera parte del 40 % de la energía primaria de este país, dentro del cual el 95 % proviene de la gasolina y del diésel, pero además es protagonista en otros ámbitos, como el que acaba de presentar la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia, que ubica al sector transporte como el más ineficiente del país o, visto de otra manera, como el sector en el que más del 66 % de la energía se pierde.

Además, en Colombia la política no está enfocada como Europa al CO_2, ni a los gases de efecto invernadero, porque tenemos otra realidad. Por ejemplo, la contaminación de los grandes centros urbanos, que es una batalla del día a día, sobre todo con un contaminante que es el material particulado $PM_{2.5}$, que en los inventarios local y nacional aparece con una participación, proveniente del sector transporte, entre el 70 y el 80 % respecto a la contribución completa de la contaminación.

Respecto a los gases de efecto invernadero, también es un campeón el sector transporte. Los dos informes bienales de actualización que ha enviado Colombia a la Convención Marco para las Naciones Unidas de Cambio Climático, tanto el de 2015 como el de 2018 lo ubican en el primer lugar en 2015 y en el tercer lugar en 2012 en cuanto a emisión de gases de efecto invernadero en el país.

Llamo la atención sobre la importancia que tiene este sector estratégico para Colombia en el ámbito energético, que depende de múltiples carteras del Gobierno, que lo regulan: los ministerios de Minas y Energía, Transporte, Comercio, Industria y Turismo, Hacienda, Ambiente, y no solo desde el punto de vista en que lo hace la Unidad de Planeación Minero-

Energética, sino que también está sometido a regulaciones autónomas, como en el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que ha tomado iniciativas respecto a regulaciones al sector de transporte. Todo esto, cuando hay tantas agendas, muestra la necesidad de crear una agencia nacional de energía o instituto nacional de energía.

En cuanto a políticas de sostenibilidad energética en el sector, retomando la importancia que les dio a los gases de efecto invernadero el doctor Mauricio Cárdenas hace un momento, debo decir que estamos naciendo en esto, pues apenas con la Ley 1931 de 2008 se plantearon los planes integrales de gestión de cambio climático para el país; por tanto, el Ministerio de Minas y Energía, con todas sus carteras, tiene que acoger ese plan de gestión de cambio climático en sus agendas, pero al respecto debo criticarle que desconoce no solo los dos informes bienales de actualización, sino la importancia capital que tiene el consumo del transporte para el país.

El año pasado, a finales de septiembre, se emitió la Ley 1694 de 2019, que impulsa la movilidad eléctrica. Entonces, como documento de política importante que es, la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia debe hacer público el Plan Energético Nacional, que contempla el tema de los gases de efecto invernadero para el transporte.

Del sistema de transporte son conocidos su consumo y sus emisiones. Sin embargo, falta fluidez en las comunicaciones entre entidades del Estado, como acabo de mostrarlo, y no hay una hoja de ruta para la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles o electrocombustibles. Solo hay un apoyo muy tímido del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación al tema energético en el sector transporte. Espero que, como fruto de esta audiencia pública, salga un tema de fortalecimiento.

Una política reciente, la Ley 1964 de 2019, incentivó fuertemente la electromovilidad, pero ya hemos sido llamados por varios expertos a lo largo de la mañana sobre la vulnerabilidad que tiene nuestro sistema que, por fortuna, es muy renovable (el 68,3 % de la energía del país es hidroeléctrica, pero depende fuertemente de los efectos climáticos).

Lo otro es que no queda clara la participación de las fuentes no renovables de energía en el mediano y el largo plazo en todas estas leyes que se están planteando. Los biocombustibles no fueron contemplados en el Plan Energético Nacional, pues no hay políticas claras y ya acabamos de ver el protagonismo que tienen de cara a la posibilidad de sustituir fósiles de gases de efecto invernadero. No obstante, este plan es un documento clave, porque es la comunicación de Colombia con el mundo, de acuerdo con las necesidades que tiene que comunicar con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la OCDE. No está claro el escenario.

Yo no recomiendo que Colombia tome como referencia esa ley de cambio climático y transición energética española. No la considero a pesar de que es agresiva, como explicó el profesor Lapuerta, en temas de eliminar la combustión de plano, en tanto que dice que se deben eliminar las emisiones directas de CO_2.

Colombia tiene un proceso de paz al que debe darle solución, y ese proceso de paz pasa por el empleo rural y por la recuperación de tierras degradadas históricamente con una ganadería intensiva e ineficiente. En Colombia tenemos un sistema vulnerable en la generación eléctrica, como se ha mencionado. No estamos preparados como en España para afrontar mejoras tecnológicas de instalaciones para este tipo de energía, pues tenemos altos volúmenes de residuos agrícolas agroindustriales que podrían potenciar una fuerte participación de la biomasa en la generación eléctrica. Quiero llamar la atención sobre la biomasa, diferente a lo dicho por la ministra sobre las fuentes eólica y solar, como

una de las vulnerabilidades que tiene este sistema y es que la biomasa sí se puede almacenar; por lo tanto, si se incluye la biomasa dentro de la canasta energética, no solo se dispondrá de una fuente renovable, sino que podría generar incentivos para conservar la biocombustión.

Por el contrario, pienso que Colombia sí debería abordar la ley europea en el sentido de ir hacia emisiones netas de CO_2 nulas. Sin embargo, esto tiene unas implicaciones grandes. Por ejemplo, si se quisiera adoptar el biodiésel de palma, de plano no sería viable según esta ley por su alto riesgo en el indicador del cambio del uso de la tierra. Este indicador afecta a superficies de más de 100.000 hectáreas de monocultivo, con una expansión anual de terrenos en producción desde 2008 superiores al 1 %, y la posibilidad de dañar tierras con alta reserva de carbón, como la selva tropical, superior al 10 %.

Por lo tanto, tenemos una opción grande de desarrollar los electrocombustibles, es decir, los sistemas *power to liquid* y *power to gas*, dentro de los cuales nuestros programas en el marco del Ecosistema Colombia Científica tienen un proyecto muy interesante de *power to gas* con el hidrógeno como eje central, y una tremenda oportunidad de fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Seguridad energética: desafíos y oportunidades

Ricardo Raineri Bernain

Es presidente desde 2017 de la Asociación Internacional para la Economía Energética (IAEE), asesor económico principal de Associated Universities, Inc., exdirector ejecutivo alterno del Grupo del Banco Mundial, exministro de Energía de Chile, presidente del Consejo de la Compañía Estatal de Petróleo de Chile (ENAP), presidente de GMAEP y profesor de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Han pasado más de 40 años desde que se crearon la Agencia Internacional de la Energía (AIE) (www.iea.org) y la Asociación Internacional de Economía de la Energía (AIEE) (www.iaee.org); la primera, como un organismo multilateral de países al alero de la OCDE, y la segunda, como una asociación profesional cuyo fin es promover el intercambio de conocimiento y buenas prácticas sobre la economía de la energía. Ambas nacieron como respuesta a la problemática de la inseguridad energética que azotó a los mercados globales en la década de los años setenta.

Desde finales de los años setenta la población mundial ha crecido un 80 %, la economía mundial más de 200 % y el consumo de energía en más del 200 %, y esperamos que sigan aumentando aún más. En estos 40 años, ha habido grandes cambios en tecnología y participación de la sociedad civil, con un mundo más globalizado y conectado en un contexto geopolítico más exigente, en el que estamos enfrentando exigencias mayores para el desarrollo de proyectos y el uso de tecnologías respecto a mitigar sus impactos sociales y ambientales. A lo largo de todos estos años, la cuestión de la seguridad energética ha sido un tema central y con una relevancia creciente dado el rol de la energía como pilar clave en la economía moderna.

Hay más de una interpretación a lo que se entiende como seguridad energética (Raineri, 2017 a y b). La AIE define seguridad energética como la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible (AIE, 2020), mientras que la OTAN la ve en forma más holística (Nato Review, julio de 2016), y sobre la seguridad energética dice que "hay mucho más en juego que fuentes baratas y confiables de energía. Se trata de la independencia"; la seguridad energética tiene que ver con la soberanía, la estabilidad política, la democracia y el desarrollo.

Los factores que afectan a la seguridad energética son diversos, y en ellos hay riesgos sociales, económicos, ambientales, naturales y antropogénicos, y muchas veces particulares a cada economía, como un país importador o exportador de energía. De be considerarse el acceso a recursos energéticos nativos, la integración con los mercados energéticos regionales y globales y el desarrollo y la mercantilización de las diferentes fuentes de energía a nivel regional y global, entre otros.

Seguridad energética no es autosuficiencia, y más bien consiste en establecer un sistema resiliente y con amortiguadores adecuados que garanticen un suministro seguro y asequible a la energía. La existencia de fuentes de energía nativas y/o mercados energéticos globales, pero competitivos, son habilitadores de un suministro de energía más seguro.

Algunas variables antropogénicas que afectan negativamente la seguridad energética son los siguientes:

- Riesgo político y cambios hostiles al marco regulatorio, a nivel local y/o extranjero, y exigencias ambientales y sociales sobre dimensionadas
- Riesgo de cambios en los regímenes fiscales, regalías, regímenes contractuales en el país importador o mercados de destino, que podrían afectar a los precios y la demanda
- Débil respeto y cumplimiento de las leyes y frágil entorno empresarial
- Peligro de un comportamiento oportunista en el que se use la energía como herramienta geopolítica, como es la manipulación de los precios
- Inestabilidad de los mercados que no aseguren una demanda o flujo de ingresos estables, situación en la que a menudo el Gobierno se beneficia de la renta energética
- Amenaza de la interrupción del suministro o demanda, que deja importantes activos/inversiones inutilizables, imponen enormes costos de cambio y lleva al

sistema energético a funcionar en condiciones subóptimas y poco competitivas
- Subsidios energéticos indiscriminados
- Efervescencia social y conflictos con las comunidades, que busca obtener parte de las rentas energéticas
- Riesgos de sabotaje y ciberataque a infraestructura energética

Estos factores, en general, ponen de relieve el debate sobre la dependencia, energética o de demanda, y aboga por diversificar los mercados y fuentes de energía, buscando el acceso a mercados regionales y/o globales competitivos, y por desarrollar recursos/fuentes energéticas nativas.

Si bien existe consenso de que la integración de los mercados de energía/infraestructura crea riqueza y mejora el bienestar de los pueblos, no se deben subestimar los riesgos que en ocasiones ello conlleva, pues no siempre la integración de los mercados de energía/infraestructura contribuyen a mejorar la seguridad energética de un país si ello lleva a una dependencia de fuentes no competitivas.

Entre los países existe una amplia diversidad de modelos de desarrollo y del rol de los sectores público y privado, y sobre cómo distribuir las rentas de los recursos energéticos, lo que conlleva niveles de riesgo diversos frente a la integración y/o dependencia.

Desde la política pública, ¿cómo podemos contribuir a mejorar la seguridad energética? Podemos hacerlo así:

- Promoviendo un entorno empresarial propicio.
- Fortaleciendo un Estado de derecho, con instituciones fuertes y ausencia de corrupción.
- Evitando la dependencia y apostando por una diversificación hacia mercados energéticos competitivos, con un sistema de precios que no distorsione y dé cuenta de la realidad del mercado.
- Propiciando una participación sólida del sector privado.
- Haciendo que la seguridad energética no sea un bien público, con el fin de reducir los riesgos sistémicos.
- Facilitando el desarrollo de un sistema energético eficiente y resiliente.
- Proveyendo una infraestructura suficiente.
- Mejorando las fuentes energéticas diversificadas con mercados abiertos.
- Mejorando la eficiencia energética.
- Implementando sistemas robustos frente a los ciberataques y el sabotaje.
- Garantizando el acceso a recursos energéticos.
- Importando recursos que contribuyan a la seguridad energética del país.
- Estimulando la innovación y el desarrollo tecnológico como motor de desarrollo y avance de los mercados de la energía.
- Promoviendo mercados estables que den resguardo a los ingresos para respaldar un nivel adecuado de inversiones en el corto y largo plazo.
- Diseñando políticas sociales adecuadas que garanticen el acceso a servicios energéticos a toda la población, con subsidios focalizados en los grupos vulnerables.

Con riesgo de ser simplista, como regla general, se debe buscar diversificar las fuentes y los mercados objetivo y las fuentes energéticas nativas competitivas, así como promover políticas económicas eficientes y fiscales balanceadas, con una gestión adecuada de la renta energética.

Comentarios finales

Las nuevas tecnologías han cambiado al sector energético, de una estructura centralizada a una descentralizada, y la innovación y la disrupción tecnológica, en entornos abiertos y competitivos, ha sido continua y ha contribuido positivamente a aumentar la seguridad energética global.

Los avances en las tecnologías de perforación y otras tecnologías, como la solar y la eólica, han permitido el acceso a nuevos recursos y fuentes de energía no convencionales y el aprovechamiento de la energía del viento, el Sol y los océanos, entre otros, generando importantes cambios en el equilibrio geopolítico (Raineri 2017c; Raineri 2018; Raineri 2019).

Los nuevos desafíos provienen de poder manejar una mayor flexibilidad y de la necesidad de mejores sistemas de comunicación y control, sistemas de medición inteligente y gestión de grandes volúmenes de datos, con lo que la gestión de fuentes diversas y la demanda y las tecnologías de almacenamiento se convertirán en un aportante clave para la seguridad energética.

Los gobiernos, la industria, las organizaciones de investigación y la comunidad científica tienen un papel clave en el avance de la frontera de lo que es posible y en la comprensión de las tecnologías y modelos de negocio más adecuados para gestionar la transición a un sistema energético más descentralizado, resiliente y sustentable, por lo que los niveles de compromiso de una economía con una participación baja en carbono necesitan claridad y reglas estables y duraderas por parte de las autoridades gubernamentales.

Surgen nuevos modelos de negocio como nuevas tecnologías. El cómo las autoridades gubernamentales manejan la transición, es esencial para acelerar la innovación y el cambio tecnológico.

Los países que se convierten en líderes en esta revolución tecnológica tomarán el liderazgo industrial y se convertirán en el socio de elección para los desarrollos energéticos de los países menos aventajados.

Dado el contexto anterior, la creación de un instituto de estudios avanzados en energía en Colombia que contribuya al desarrollo del país y la creación de capacidades avanzadas de desarrollo de ciencia y tecnología es muy positivo al tiempo que plantea muchas preguntas, tanto de su estructura de gobernanza como de sus funciones, pero algunas materias que este debería abordar son:

- La vigilancia tecnológica
- El potencial de fuentes energéticas nativas
- El desarrollo de proyectos piloto
- El desarrollo de políticas públicas
- El desarrollo de capacidades tecnológicas
- El desarrollo de tecnologías según las ventajas comparativas del país

El covid-19 ha puesto en peligro la seguridad e independencia energética logradas en la última década, conseguidas por los países que vieron que la innovación y la promoción de fuentes competitivas de energía nativas y alternativas contribuyen positivamente a este objetivo. Esta pandemia está llevando a los países a reconsiderar su dependencia extranjera en sectores clave de la economía más allá del sector energético. Y, lo que sí sabemos hoy, es que habiendo superado el covid-19, nos quedaremos con sus secuelas, la dolorosa pérdida de muchas vidas humanas, familias muy empobrecidas e industrias

destruidas, y con los países expuestos a una gran inestabilidad económica, política y social, enfrentando una pesada deuda.

Ya hoy, debemos planificar y prepararnos para un largo proceso de reconstrucción social y económica, y en ello el sector energético puede aportar positivamente y acelerar el proceso.

Referencias

- AIE (2020). https://www.iea.org/topics/energy-security, revisado el 28 de mayo de 2020.

- Nato Review (2016). "Energy security: what's at stake?". July 2016. https://youtu.be/HN5HtceXFLE, revisado el 28 de mayo de 2020.

- Ricardo Raineri (2017a). "Energy integration in South America: experiences, potential benefits, fears and challenges", integration and electrical security in Latin America, Nivalde José Castro y Rubens Rosental editors, 1st ed., Oficina de Livros Rio de Janeiro, Brasil, pp. 199-245.

- Ricardo Raineri (2017b). "Presidential address", Energy Forum, International Association for Energy Economics, Fourth Quarter, pp. 1-3.

- Ricardo Raineri (2017c). "Cómo lo hizo Estados Unidos para contribuir a la seguridad energética global", *El Mercurio* de Santiago, 28 de marzo, pp. B10.

- Ricardo Raineri (2018). "Energy security and dominance in the XXI century, beyond oil and gas", NCAC Newsletter, november 2018, Part II.

- Ricardo Raineri (2019). "¡Seamos disruptivos si realmente queremos llegar al desarrollo!", *El Mercurio* de Santiago, 26 de octubre, pp. B10.

Investigación en energía, aprendizaje de Chile y lecciones y desafíos para Colombia

Guillermo Jiménez-Estévez
Rodrigo Palma-Behnke

Guillermo Jiménez-Estévez es ingeniero electricista de la Escuela Colombiana de Ingeniería y magíster y doctor en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile. Se desempeña como docente de jornada parcial en la universidad donde cursó su doctorado. Ha diseñado la microrred de la localidad de Ollagüe, El Romeral y la isla de Robinson Crusoe. Ha estado al frente de diversos proyectos de energías renovables no convencionales, y ha sido auditor técnico de diversos proyectos de generación para validar y monitorear el modelo de desarrollo limpio. Participó en el grupo de investigación en energía de la Universidad de Chile y ha presentado diversas conferencias internacionales sobre desarrollo sostenible.

Rodrigo Palma Behnke es ingeniero civil de Industrias con mención en Electricidad, y magíster en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile, además de Dr. Ing. de la Universidad de Dortmund (Alemania). Desde 1999 es profesor titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Centro de Energía de la FCFM, Universidad de Chile. Su campo de investigación —el que se ha traducido en torno a 80 publicaciones en revistas especializadas a nivel internacional— cubre el diseño, la planificación y la operación de sistemas eléctricos de potencia en mercados competitivos; las energías renovables, particularmente energía solar; y el desarrollo de herramientas de apoyo a la docencia. Fue coordinador de investigación del proyecto MAPS Chile y ha participado en variados estudios para el Gobierno y empresas del sector eléctrico en Chile y en el extranjero. También es senior member del IEEE y presidente de la Sección Chile del IEEE en tres períodos. Asimismo, es director del CE-FCFM, Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, e investigador principal del Centro de Excelencia FONDAP-CONICYT de Energía Solar SERC-Chile.

Este capítulo presenta la importancia de la constitución de centros de investigación en energía como elemento clave para afianzar los desarrollos del país en este ámbito, en el que sobresalen los valores de capacidad de articulación, interdisciplina, rol neutral y aporte a la política pública, entre otros. Se describe la experiencia del Centro de Energía de la Universidad de Chile y los logros obtenidos en el desarrollo del sector energético como consecuencia de ello. Finalmente, se plantea la pertinencia del apoyo y fomento de centros de esta índole en Colombia y cómo la investigación genera insumos y señales de desarrollo con el fin de garantizar un suministro seguro y sostenible de la energía.

En 2009 se realizó el lanzamiento del Centro de Energía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (Centro de Energía, 2020) con el objetivo de contribuir desde la academia a la investigación y al desarrollo tecnológico en el ámbito de la energía. Esta iniciativa, originada en el trabajo conjunto de tres investigadores, se transformó en una institución de renombre e impacto nacional que sostiene un espacio activo de trabajo para un grupo del orden de cuarenta personas y se ha constituido en un referente en lo que respecta a los desafíos que implica una temática tan amplia y variada, como lo es la energía.

La evolución del Centro de Energía (CE) y el valor que constituye para la investigación y el impacto en la política pública del país se ha ido construyendo a partir de un conjunto de características propias que se han ido madurando con el tiempo. En primera instancia, se reconoce el rol articulador que el CE ha desempeñado generando impacto en distintas instituciones y evitando a su vez disputas entre otras, tanto públicas, como privadas y académicas, vía la oportunidad de trabajo conjunto en proyectos de mayor envergadura, en los que sobresale el amplio rango de conocimientos necesarios para tratar temáticas asociadas a la energía.

En resumen, las apuestas de impacto tienen que incorporar la masa crítica existente en todo el país, siendo imposible para una institución individual el poder abordarlas de manera exitosa. Esto último da pie a otra característica que se ha ido enriqueciendo dentro del CE, que es el carácter interdisciplinario del mismo, contando con una alta variedad de saberes, que van desde las ciencias sociales hasta el desarrollo y aplicación de tecnologías. Lo anterior ha sido valorado por el sector privado, permitiendo proponer en forma conjunta iniciativas con focos específicos en el sector energético.

Es importante resaltar también el rol que el centro ha jugado en la formulación y apoyo a la elaboración de política pública, aspecto en el que el espacio neutral que caracteriza a la Universidad de Chile brinda una gran oportunidad para discutir y proponer elementos fundamentados desde el conocimiento, minimizando sesgos o intereses particulares. Por último, sobresale también un rol que se ha desempeñado desde el ámbito formativo, generando espacios de discusión y diálogo a diferentes actores, talleres, grupos de trabajo y, por supuesto, espacios de formación de capital humano calificado en diferentes temáticas asociadas a la energía.

Como complemento y resaltando lo anterior, un centro de investigación "propicia la gestión de la innovación acumulativa, genera economías de escala, alcance y aglomeración para la transferencia tecnológica, con ventajas sobre las iniciativas bilaterales entre investigadores e industrias particulares" (Misión de Sabios, 2020). Los atributos ya mencionados le han permitido al CE liderar diferentes iniciativas de renombre nacional e internacional, entre las que destacan las siguientes:

- Huatacondo, primera microrred en zona aislada de Chile, puesta en operación en 2010 y referente de desarrollo de este tipo de soluciones a nivel nacional y regional

(Jiménez-Esévez *et al.*, 2015).

- Participación activa en la política energética Energía 2050, MAPS Chile, política para la eficiencia energética y la regulación de la generación distribuida, entre otros.
- Herramientas para toma de decisiones, desarrollo de *software* de programación de la operación del sistema interconectado nacional.
- Centro articulador en iniciativas de múltiples instituciones, entre los que destacan:

    - Solar Energy Research Center (SERC), Chile: dedicado a la investigación y el potenciamiento del norte de Chile como centro de desarrollo de la energía solar, con participación de siete universidades en el país y cerca de 80 investigadores. Actualmente en el séptimo año de ejecución y financiado vía programa FONDAP de la ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile), con apoyo anual cercano a 1 MUSD (SERC Chile, 2020).
    - Proyecto AtamosTEC (Atacama Module and System Technology Consortium), programa financiado por CORFO a partir de las regalías obtenidas por el desarrollo de la industria de la minería y el consorcio constituido por academia e industria con el objetivo de desarrollar el módulo fotovoltaico para las condiciones naturales del desierto de Atacama (AtamosTEC, 2020).
    - Energía renovable a nivel comunitario: materializado en diferentes proyectos de envergadura, se promueve este tipo de soluciones sostenibles y resilientes concebidas en sistemas sociotécnicos, a través de metodologías de construcción y estructuras de gestión local, con mucho mayor impacto y relevancia bajo la coyuntura actual del covid-19 (Palma-Behnke *et al.*, 2020).

Estas oportunidades han permitido enfrentar uno de los temas recurrentes en las universidades en Chile, en las que históricamente los centros aplicados, como el CE, han sido vistos como contrarios a la investigación de alto nivel. En efecto, el CE ha permitido impulsar de manera importante la investigación aplicada sumando a la fecha cerca de 100 publicaciones WoS como centro y más de 400 como SERC Chile.

Por último, es importante mencionar que, a partir del valor identificado en la investigación en energía, el desarrollo de política pública, la asociatividad industria-academia, ha generado interés en otras universidades, que, a su vez, han lanzado otros centros de energía, habiendo por lo menos cinco centros con esta vocación en Chile y exigiendo a su vez mayor excelencia y dedicación a la investigación en este ámbito.

Es importante señalar que, a pesar de toda esta actividad, hasta el día de hoy sigue siendo un desafío poder encontrar un esquema de financiamiento para el CE. Su actividad depende mucho de los proyectos que se ganen, los que en general no corresponden a proyectos de largo plazo.

Respecto de las oportunidades para Colombia, en primer lugar, la pertinencia de fomentar la creación y consolidación de centros dedicados a la investigación en energía, por el valor estratégico que tiene para el país, no solo como eje transversal de suministro sino también como generador de encadenamientos productivos que apunten al fomento y creación de una economía basada en el conocimiento y el protagonismo en la cuarta revolución industrial vía el acercamiento a tecnologías de vanguardia, lo anterior bajo un marco de sostenibilidad y de mejoramiento de soluciones enfocadas en la mitigación y adaptación al cambio climático.

En segundo término, el fomento y desarrollo de investigación de excelencia en el ámbito de la energía, cuyo valor y asignación debe priorizarse en la calidad científica de la misma,

ya que el desarrollo de conocimiento científico, la innovación y el desarrollo tecnológico son un activo país y por lo mismo debiera perseguir los más altos estándares.

En tercer lugar, la búsqueda de oportunidades en alternativas de producción energética con alto potencialidad en el país (i. e. biomasa, minihidráulica, geotermia, solar y eólica) en los que se identifiquen nichos de desarrollo, por ejemplo, sustitución al gas natural en el largo plazo (*power to gas*), complementariedad con generación hidráulica, entre otras, y sobre los cuales se debiera disponer de un conocimiento profundo y la pertinencia de aplicación en el país.

A partir de los desarrollos y conocimientos adquiridos de las soluciones de pequeña escala a nivel rural y urbano, se posiciona como alternativa significativa para el suministro sostenible y seguro de energía, el uso y aprovechamiento de los recursos energéticos distribuidos y la consecuente descentralización del sector, en los que la academia, vía centros de investigación aplicados y observatorios, aportará con creces, entre otros, a los siguientes tópicos clave:

1) Concepción robusta y gestión óptima de microrredes aisladas e interconectadas
2) Control distribuido de microrredes y DER
3) Integración masiva de vehículos eléctricos y electrificación de la demanda
4) Integración de sistemas multienergía (gas, electricidad, transporte)
5) Nexo energía-agua-alimentos
6) Comercialización distribuida y aplicación de DLT (*distributed ledger technologies*)
7) Observabilidad de redes de distribución, monitoreo y control, *hosting capacity* y *big data*
8) Nuevos modelos de negocios y mercados, nuevos actores, y regulación

Referencias

- AtamosTEC (2020, 29 de mayo). AtamosTEC [en línea]. Nosotros. Recuperado el 29 de mayo de 2020 de http://www.atamostec.cl/sitio/nosotros/.

- Centro de Energía (2020, 29 de mayo). Centro de Energía [en línea]. ¿Quiénes somos? Recuperado el 29 de mayo de 2020 de http://centroenergia.cl/quienes-somos/.

- Jiménez-Estévez G., Palma-Behnke R., Ortiz-Villalba D., Núñez O., & Silva C. (2014). It takes a village: social SCADA and approaches to community engagement in isolated microgrids. IEEE Power and Energy Magazine.

- Misión de Sabios (2020). Colombia hacia una sociedad del conocimiento. Reflexiones y propuestas. Volumen 1. ISBN digital: 978-958-5135-13-0. Recuperado de: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/ebook-_colombia_hacia_una_sociedad_del_conocimiento.pdf.

- Palma-Behnke R., Jiménez-Estévez G., Sáez D., Montedonico M., Mendoza-Araya P., Hernández R., & Muñoz, C. (2019). Lowering electricity access barriers by means of participative processes applied to microgrid solutions: the chilean case. Proceedings of the IEEE.

- SERC Chile (2020, 29 de mayo). SERC Chile [en línea]. Nuestra historia. Recuperado el 29 de mayo de 2020 de: http://serc.cl/historia/.

Seguridad energética para Colombia. Contexto de Latinoamérica y el Caribe

Jesús Francisco Vargas Bonilla

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, máster en Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y doctor en Cibernética y Telecomunicaciones de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Se desempeña como docente de la Universidad de Antioquia. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica e informática.

La presente intervención busca presentar los contextos nacional y regional, retomando lo expuesto con anterioridad. El instituto constituido en el marco de la presente audiencia debe tener en cuenta el panorama latinoamericano y del Caribe, y en este sentido se tomará como principal referente el documento expedido en 2016 por la UPME, que es un actor importante en el proceso objeto de la presente audiencia. Este documento desarrolla de manera interesante el tema de seguridad energética trayendo consigo una definición de lo que se entiende por seguridad energética a nivel regional. Sin embargo, solo figura una concepción regional en todo el documento; dicho en otras palabras, se tiene en cuenta solo el tema regional, en el que claramente hay intereses de los países.

En relación con este tema, dicho documento también abarca el uso racional y eficiente de la energía, pero esto se queda ahí. Dentro de lo que se ha analizado en la jornada, cabe destacar que el país cuenta con muchas iniciativas exitosas, pero que no han logrado ser articuladas, ni se ha podido darles continuidad y estabilidad en el tiempo, ya que, como se mencionó anteriormente, aún no se puede hablar de una transición de políticas de Gobierno a políticas de Estado.

Cabe resaltar que este documento recopila y pone en evidencia la necesidad de crear un ente articulador y dinamizador que permita aumentar la efectividad de todas las iniciativas que involucren a las universidades y a las empresas públicas y privadas, así como a diferentes entes colombianos.

Del mismo modo, en el documento se define como objetivo "satisfacer las necesidades energéticas de forma confiable, accesible, asequible y aceptada social y ambientalmente". Al respecto, en la presente actividad se han presentado distintas ideas, en las que se evidencian varios dilemas planteados únicamente para el análisis del contexto colombiano, en las cuales intervienen tres variables importantes, que son seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental. No obstante, carece de contextualización en la región, lo cual se define en una serie de desafíos para 2016, año en el que se propuso nuevamente diversificar la canasta energética junto a otras propuestas que han sido discutidas ampliamente en la presente audiencia.

En este orden de ideas, el trilema de WEC (la seguridad energética, la equidad energética y la sostenibilidad ambiental) tiene ya un perfil regional, lo cual permite señalar la importancia de tener en cuenta este contexto, en el que se evidencia la dependencia que tiene la región debido al hecho de ser hidrogeneradores del cambio climático y a la manera en que estos sistemas pueden ser afectados (por ejemplo, el que se hable de un posible racionamiento para principios del próximo año muestra que esto es una realidad, un riesgo que hay que analizar), poniendo de manifiesto la necesidad de diversificar la fuente de energía; no obstante, el uso y la creación de interconexiones y la generación distribuida en la infraestructura regional ha sido muy escueta.

Al analizar cómo va la región, Colombia se encuentra en la mitad; en el primer informe, elaborado en 2016, estaba en el puesto 41, y actualmente ocupa el puesto 49. Esto permite constatar las fortalezas y debilidades del país respecto a los países vecinos, como lo es el caso de Uruguay, que es digno de analizar y ver qué han hecho bien para apropiarlo.

En esta perspectiva, al observar el mapa global, representado en distintos colores, en el que el color naranja señala los países que van mejor en el índice establecido en 2016, mientras que el azul oscuro señala aquellos que les va peor, se puede notar cierta homogeneidad en la región de Latinoamérica y del Caribe. Esto supone la existencia de elementos compartidos, de los cuales surgen casos para analizar, como el de Uruguay junto a Bolivia y Paraguay, con el fin emprender en la región un proceso de integración a partir

de la colaboración académica y en la que sean incluidas políticas y marcos regulatorios generales.

Cabe considerar, por otra parte, la importancia de consolidar la triada universidad-empresa-Estado, por lo que actualmente es común hablar de empresas multilatinas; sin embargo, esto implica desarrollar un marco normativo regional que brinde seguridad jurídica.

En la gráfica anterior se advierte que China es un caso particular, pues, al ser uno de los grandes actores en el ámbito energético, no reporta un gran desempeño; sin embargo, es uno de los mayores consumidores de energía, lo cual implica que no basta con tener disponibilidad de energía, sino que también es necesario usarla eficientemente teniendo en consideración el tema ambiental, siendo esto lo que se planteaba en el año 2016.

Posteriormente se expidió el Plan Energético Nacional, que cuenta con un panorama más amplio. Nuevamente se intenta hablar de la integración energética regional, pero esta iniciativa queda enmarcada en un párrafo, junto a dos párrafos más, en el cual se advierte que la integración con otros países es un tema pendiente en el que se deben tener cuenta la soberanía y la independencia de las naciones.

Ahora bien: se resalta el papel de la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), que en 2019 planteó el panorama energético de esta región. Asimismo, cuenta con una ventana de análisis para el periodo 2017-2040, que presenta el modelo para la simulación y el análisis de la matriz energética de los países. También presenta un sistema de información energética de América Latina y el Caribe, que requiere ser alimentado con datos fiables; sin embargo, todo este análisis necesita ser reformulado, ya que hay que considerar cómo será afectado el sector debido a la emergencia sanitaria. Debido a que esta prospectiva se hizo el año pasado, todo esto tendrá que ser analizado nuevamente.

Por lo anterior, el instituto que surge en la presente audiencia debe tener en cuenta ese panorama cambiante debido al escenario pospandemia, ya que hay que reformular y ver cómo serán las nuevas metas. Este instituto debe ser el órgano articulador que incluya los esfuerzos de las universidades, el sector empresarial y, desde luego, la política de Estado.

CUARTA PARTE

POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO DE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA EN COLOMBIA

Energy priorities for Colombia

Stef Proost

Prof. Stef Proost works as an independent economic expert for TML. He holds a licentiate and Master in Economics, as well as a Ph. D. in Economics. Stef is full professor of Economics at the KU Leuven and teaches transport, energy and environment economics at the Faculty of Economics and Business and at the Engineering Faculty. His areas of expertise are economic analysis of energy, environment, transport, public economy problems using quantitative approaches including the multi-level government dimension

---

The future is oil export, electro mobility and well-functioning markets.

Colombia needs the oil and coal export market Major change to come is the electro mobility and this will help the export of oil.

Electricity markets will become more important, and this requires well-functioning markets.

Colombia needs oil and coal exports.

The world's appetite for coal is decreasing because of climate concerns and this means that margins will be thinner.

Oil margins will be restored once the current dumping will be over, once the world is out of its pandemic, demand for oil will resume.

Major change to come is the electro mobility.

Oil use for cars is dominating Colombia's domestic energy consumption.

Car ownership and use increases strongly in a developing economy Colombia has renewable electricity resources (hydro, wind, solar).

Instead of importing second hand gas-guzzling cars, there is an opportunity to reduce its dependence and stimulate its economy by starting to produce cheap electric cars itself – the technology is less complicated than that for gasoline cars.

It allows to reduce local air pollution problems in its canyon type cities. Less oil consumption allows to have a larger net export of oil.

Good functioning electricity markets.

The Colombian economy will use more electricity for the transport sector, for its industry and for the use of home.

This will require additional investments in renewables and a good management of capacity at peak times.

Sufficient national and international transmission capacity for balancing good investment charter to attract sufficient international capacity for the capital-intensive renewable (solar, wind) investments.

El Consejo Mundial de Energía: hallazgos y recomendaciones para Colombia

Ángela Wilkinson

La señora Wilkinson es física de la Universidad de Leicester en el Reino Unido y doctora de la misma universidad. Cuenta con más de 30 años de experiencia en las principales iniciativas de transformación y desafíos energéticos nacionales e internacionales y globales. Es miembro del foco de energía de la Misión Internacional de Sabios de Colombia en el 2019. Actualmente, es secretaria general del Consejo Mundial de Energía, siendo la primera mujer en ocupar el cargo en la historia de ese organismo.

El Consejo Mundial de Energía es una comunidad única, imparcial y activa en la transición de energía en más de 19 países por casi cien años. Esta comunidad se basa en la contribución de nuestros miembros. Es una de las instituciones más fuertes en el mundo y cuenta con más de 70 miembros, incluyendo el Gobierno, la academia y los negocios. A continuación, se revelarán los hallazgos de la evaluación del desempeño de la política nacional de energía.

Este triángulo utiliza la referencia del desempeño de la política nacional en tres dimensiones; la sostenibilidad de energía, la seguridad de la energía y la equidad. Esto reconoce que cualquier elemento necesita equilibrar estas tres dimensiones. Según la evaluación del año pasado, Colombia ocupa el puesto 49 en una lista de 128 países. Es un buen desempeño en términos de sostenibilidad de la energía, y ha tenido mejoras en los últimos veinte años.

Como se ve en el gráfico, el sector privado y el Gobierno han aumentado el acceso al sistema de energía en términos de la seguridad de la energía. Sin embargo, el puntaje ha bajado. Durante el año pasado, este ha sido uno de los indicadores que más caen. Por otro lado, la masificación de la generación provee más de 70 % de la energía del país, masificación que se produce por las hidroeléctricas, es decir, los diques que están presentes en el país, y se dispone de una gran inversión nacional.

Las acciones que se pueden aumentar en seguridad nacional son para aumentar la resiliencia y diversificar la mezcla de energía. Colombia no tiene recursos de viento, que son complementarios para las hidroeléctricas, y hay algunas alternativas respecto a la emergencia que sirven para aumentar la capacidad renovable con un vector de hidrógeno limpio. En dos eventos del año pasado, se produjeron 14.400 megavatios de energía no convencional. Este elemento es muy importante para crear un sistema adecuado. Esto contribuye al programa global de intercambio de conocimiento para desarrollar nuevos marcos dinámicos de energía.

Hay nuevas preguntas respecto a la seguridad, y el Consejo Mundial de Energía ha mostrado activamente las lecciones sobre la reacción ante las crisis energéticas. Se realizaron encuestas en 90 países, en las cuales se compartió la experiencia, entendiendo el impacto energético. Estas iniciativas generan un aprendizaje basado en la acción y, a su vez, expresan las expectativas de la población.

La estrategia para superar la crisis se resume en “las cuatro R”. Por un lado, está el liderazgo responsable que pretende dar un direccionamiento digital; por otro, está la resiliencia, entendida no solamente en términos del flujo de electrones, sino también la resistencia de la gente perteneciente a las cadenas globales; también se necesita una especie de rescate y recuperación de políticas fiscales para acercarse a la nueva energía. La cuarta R se refiere a rediseñar los mercados, es decir, cambiar las políticas climáticas para estructurar una nueva regulación en las redes, tanto en las políticas sociales como en las hídricas (cero emisiones en los mercados de energía).

La sociedad no puede perder la oportunidad de cambiar sus fuentes de energía cuando estamos en crisis. Aunque aún es demasiado temprano para saber cuándo se volverá a la normalidad global o cómo será esa “nueva” normalidad, es importante que comencemos a pensar en el paso a seguir. El Consejo ha apoyado a los gobiernos preparando escenarios nuevos poscrisis basados en una gráfica llamada pausa-rápido-hacia adelante-regrabar y rápido hacia atrás.

Colombia debe liderar una estrategia en el uso de herramientas. Es posible que, en el país, se puedan diseñar nuevas opciones para la seguridad energética, un nuevo paradigma de resiliencia y una nueva era que va a llevarnos a humanizar la transición de energía.

Podemos explorar la energía estable como mecanismo de recuperación y, también, pensar respecto a la mutualidad a medida que se avanza hacia la neutralidad climática. No generar opiniones divididas y polarizantes entre las energías renovables, como el gas limpio o el hidrógeno limpio. Es un camino que se debe tomar para encontrar nuevas políticas de seguridad energética y de resiliencia en la región.

Retos para la seguridad energética en Colombia

Edmar de Almeida

Es profesor del Instituto de Economía de la Universidad Federal de Rio de Janeiro e investigador del Instituto de Energía de la PUC-Río. Desde 1993 imparte cursos de pregrado y posgrado (incluido MBA) que se centran principalmente en el sector energético. También está activo en investigación y consultoría, enfocándose en la evolución de las industrias de petróleo, gas y electricidad en Brasil y a nivel mundial. Es miembro no ejecutivo de la Junta de Galp Energía en Portugal.

Sus intereses de investigación específicos incluyen la organización industrial y la dinámica de las industrias energéticas, la regulación y la política energéticas, y la innovación tecnológica y sus impactos en los mercados energéticos. Ha asesorado a muchas agencias gubernamentales, empresas públicas y privadas, inversores institucionales y organizaciones multilaterales sobre política y planificación del sector energético, cuestiones regulatorias y desarrollo del mercado.

Se graduó en Economía de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil (1992) y tiene una maestría en Economía Industrial (1994) y un doctorado en Economía Aplicada, del Instituto de Política y Economía Energética de la Universidad de Grenoble, Francia (1999). Es autor o coautor de varios libros, trabajos académicos y artículos profesionales, y es ponente frecuente en seminarios y conferencias, tanto en Brasil como en el extranjero.

Introducción

La seguridad energética se entiende como una situación de baja vulnerabilidad en el sistema energético nacional. Pero ¿cuáles son las dimensiones de la vulnerabilidad del sistema energético? Una forma de describir la vulnerabilidad es usar las dimensiones que se conocieron como las 4 A: ***a**vailability*, ***a**ffordability*, ***a**cceptability*, ***a**ccessibility*. Es decir, para analizar la seguridad energética, es necesario tener en cuenta cuáles son los atributos deseables para el suministro de energía en un país.

Considerando las dimensiones de las 4 A, es posible evaluar qué tan seguro es el suministro actual y futuro de la energía de un país. Se puede tener una gran cantidad de energía disponible (*availability*), pero si esta es costosa, no es accesible para porciones significativas de la población, y causa contaminación, algo no deseable para los ciudadanos; en consecuencia, habrán fallado las otras 3 A.

Por lo tanto, la promoción de la seguridad energética es mucho más que no dejar faltar la energía. Es necesario garantizar que la energía ofrecida en el país tenga un costo compatible con el poder adquisitivo de la población, que esté disponible para todos y que sea producida a partir de fuentes de energía que sean aceptables para las personas.

Con base en las dimensiones explicadas anteriormente, es posible afirmar que la mayoría de los países enfrentan grandes desafíos para garantizar la seguridad energética. Esto se debe a que la sociedad percibe que las fuentes de energía dominantes actuales ya no son aceptables porque contribuyen con el calentamiento global.

La matriz energética mundial todavía está dominada por los combustibles fósiles, en los que el petróleo, el gas natural y el carbón representan el 83 % de todo el consumo de energía primaria en el mundo. Las nuevas energías renovables, como los biocombustibles y la generación de energía solar y eólica, representan solo el 6 % de la matriz energética mundial. La matriz colombiana es más renovable que el promedio mundial; sin embargo, los combustibles fósiles aún representan el 75 % de la combinación energética nacional.

La descarbonización de la matriz energética es hoy un elemento fundamental de la seguridad energética. Para garantizar una matriz energética aceptable no solo para la ciudadanía colombiana, sino también en la comunidad internacional, será necesario promover una transición hacia las fuentes de energía renovables. Este desafío hace que el tema de la seguridad energética sea mucho más complejo de lo que era en el pasado. El desafío que enfrentarán todos los países en los próximos años será el de conciliar la dimensión de *acceptability* con las otras tres dimensiones de seguridad energética, en particular con la de *affordability*.

La reconciliación de las 4 A requerirá de una política energética muy sofisticada. Las formas tradicionales de intervención del sector público ya no son suficientes ni efectivas para garantizar la conciliación de las cuatro dimensiones contempladas. Ya no se trata de crear compañías energéticas de propiedad estatal o diseñar regulaciones e incentivos financieros para promover inversiones en sistemas energéticos conocidos y tecnológicamente estabilizados. Estamos hablando de hacer inversiones en sistemas energéticos que están cambiando y en los que las empresas privadas innovadoras son las principales protagonistas.

Por el momento, no sabemos exactamente cuáles son las fuentes de energía que dominarán la matriz energética en los próximos 30 años. No sabemos qué modelos comerciales

prevalecerán. Muchos desafíos tecnológicos aún deben ser superados para garantizar la adopción de nuevas fuentes de energía renovable a gran escala.

Primero, la introducción exitosa de la generación de energía solar y eólica plantea desafíos importantes para el sector eléctrico relacionados con la seguridad en el suministro, ya que son fuentes de energía variables y no despachables. Para evitar el uso de combustibles fósiles como complemento de las fuentes de energía renovables, es necesario desarrollar soluciones competitivas para el almacenamiento de energía, como baterías, o combustibles renovables líquidos o gaseosos.

Asimismo, el proceso de transición energética en el sector del transporte plantea importantes desafíos económicos y tecnológicos. Si bien los automóviles eléctricos se están introduciendo con éxito en países desarrollados con redes de energía maduras, su adopción en los países en desarrollo de rápido crecimiento está siendo obstaculizada por la menor cobertura de las redes de distribución de electricidad.

También se deben enfrentar muchos desafíos tecnológicos antes de que los productos derivados del petróleo puedan ser reemplazados por energías renovables en el transporte pesado, marítimo y aéreo. En este sentido, los biocombustibles avanzados han surgido como una alternativa relevante para la industria del transporte, que no genera riesgos de sostenibilidad debido a la creciente disponibilidad de posibles fuentes de suministro a bajos costos.

La solución a los desafíos energéticos mencionados anteriormente tiene el potencial de crear tecnologías energéticas disruptivas, lo que crea un escenario tecnológico arriesgado para los inversores, tanto en fuentes de energía tradicionales como renovables. Por lo tanto, para promover la transición energética es necesario crear mecanismos capaces de enfrentar la incertidumbre económica y tecnológica que engendra esta transición.

Algunos aspectos son muy importantes para enfrentar la incertidumbre económica y tecnológica de la transición energética y para promover la seguridad energética. A continuación, se explican brevemente.

El diseño de una política industrial y tecnológica para el sector energético

Una política industrial y tecnológica contribuye a establecer visiones y estrategias convergentes para la inversión en innovación en medio de las incertidumbres que rodean el escenario de transición energética. Una buena política debe incluir mecanismos para estimular la inversión, difundir tecnologías con potencial disruptivo y hacer más atractivo el desarrollo de proyectos con alto riesgo tecnológico. Esta será una tarea difícil, ya que el sector público ha reducido su papel en las industrias de energía. Por lo tanto, cambiar la asignación de inversiones en el sector dependerá de una articulación entre los sectores público y privado, buscando reducir los riesgos y los costos en la producción de energías renovables.

El Estado tiene un papel importante en la aceleración de las estrategias de innovación de las empresas, apoyando la creación de ecosistemas de innovación eficientes.

La noción de ecosistemas de innovación surge como mecanismo para promover el intercambio de conocimiento e información entre empresas, el sector público y otros actores relevantes para generar procesos tendientes a construir soluciones tecnológicas competitivas. Por esta razón, las políticas públicas pueden desempeñar un papel importante

a través de la implementación de instrumentos destinados a estimular un entorno empresarial innovador a largo plazo.

La habilitación de nuevos modelos de negocio de energía

Los nuevos modelos de negocio aparecen como elementos clave para monetizar el valor creado por las nuevas tecnologías y facilitar su adopción. En este sentido, han surgido numerosos modelos de negocios como resultado de la difusión de esquemas de generación distribuida (recursos de energía distribuida), con un enfoque en el empoderamiento del consumidor, además de otros sistemas innovadores capaces de proporcionar electricidad renovable en lugares con opciones limitadas, como zonas sin conexión a la red, o con alta densidad de población.

Para que las empresas innovadoras puedan probar nuevos modelos de negocio, es importante tener un enfoque flexible y creativo para la regulación sectorial. En este aspecto, es importante que los órganos reguladores sean flexibles y tolerantes con las nuevas propuestas de modelos de negocio. Estos modelos pueden ser monitoreados y evaluados para promover los cambios necesarios en el marco regulatorio.

El diseño de regulaciones ambiciosas en los mercados energéticos

También es importante avanzar en el diseño de regulaciones ambiciosas en los mercados energéticos, apropiadas al cambio de paradigma que se está produciendo en el sector, caracterizado por la creciente penetración de energías renovables variables, para facilitar la generación de valor y flujos de entrada adecuados. Considerando lo anterior, las políticas públicas deben incluir la implementación de instrumentos para alentar la adopción de comportamientos flexibles en los mercados mayoristas, a través del aumento de la granularidad en el tiempo y el espacio, y mediante el rediseño de los servicios de balanceo.

Además, en el nuevo contexto de los sistemas energéticos, es importante prever medidas para recompensar adecuadamente las respuestas de la demanda en el mercado minorista. Con relación a esto, están surgiendo prácticas innovadoras en diferentes sistemas de energía que pueden fomentar la flexibilidad, como la implementación de tarifas por tiempo de uso, los esquemas de cobro neto para el autoconsumo o la instalación de redes de generación distribuida en mercados mayoristas.

Colombia es un país que tiene un sistema energético moderno y complejo. Sin embargo, la elaboración de políticas sectoriales que integren los aspectos presentados anteriormente requiere la movilización y articulación de las capacidades de la comunidad energética colombiana, con el fin de crear una verdadera inteligencia colectiva al servicio de la política energética del país. La creación de un instituto de energía en Colombia representa una estrategia apropiada para enfrentar el desafío de movilizar las capacidades de la comunidad energética en pro de articular propuestas para una política energética más sofisticada para el país.

Referencias

- British Petroleum (BP) (2019a). World energy outlook: 2019 edition
- _____ (2019b). BP Statistical Review 2019. Available at https://www.bp.com/content/dam/bp/business sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats review-2019-full-report.pdf. Accessed on september 10, 2019.

- DNV-GL (2018). Energy transition outlook 2018: a global and regional forecast for 2050. Available at https://eto.dnvgl.com/2018/. Accessed on september 09, 2019.

- Edler Jakob and Fagerberg Jan (2017). Innovation policy: what, why, and how. *Oxford Review of Economic Policy*, volume 33, number 1, 2017, pp. 2-23.

- International Energy Agency (IEA) (2018a). World energy outlook 2018.

- _____ (2018b). Technology innovation to accelerate energy transitions.

- International Renewable Energy Agengy (IRENA) (2016). Innovation outlook: advanced liquid biofuels. Available at https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Advanced_Liquid_Biofuels_2016.pdf. Accessed on September 09, 2019.

- World Energy Council (2019). Designing for disruptions: a new era for energy. London, United Kingdom.

- World Economic Forum (2018). Fostering effective energy transition: a fact-based framework to support decision-making.

La intersección entre la agenda de investigación en los temas energéticos y la coyuntura actual caracterizada por los efectos del covid-19

Mauricio Cárdenas Santamaría

Economista colombiano con experiencia en la academia y el mundo de las políticas públicas. Ha sido ministro de Hacienda y Crédito Público (2012-2018), Desarrollo Económico (1994), Transporte (1998-1999) y Minas y Energía (2011-2012), y director del Departamento Nacional de Planeación (1999-2000) y dos veces director del centro de estudios colombiano Fedesarrollo. Ha sido miembro del consejo directivo de Ecopetrol, ISA, Telefónica, Isagén, y la Bolsa de Valores de Colombia, así como de la Task Force, liderada por Michael Bloomberg y Lawrence Summers.

Es un gusto participar de esta conferencia. Agradezco enormemente la invitación y felicito al senador Agudelo por su iniciativa, por haber promovido hoy este tipo de discusiones en el tema energético.

Hemos estado atentos a las otras conversaciones que han tenido lugar sobre los diferentes campos que son de interés para el avance de la ciencia y la tecnología en nuestro país. Por eso, quiero referirme brevemente a la coyuntura actual y lo que esto significa, e igualmente quiero hablar de la interrelación entre la agenda de investigación en los temas energéticos y la coyuntura actual caracterizada por los efectos del covid-19.

Estamos en un momento de crisis y de grandes dificultades en muchos frentes. Para ilustrarlo, simplemente menciono que el DANE acaba de publicar las cifras de desempleo del país correspondientes al mes de abril, que nos muestran una tasa de desempleo del 23 % en las trece principales ciudades, y del 19 % en el país. Esta es una situación extrema y muy compleja, que nunca habíamos vivido en nuestra historia, y por ello tenemos que pensar en el futuro con una visión de largo plazo; como dijo Churchill tan elocuentemente, "no se puede desaprovechar ninguna crisis", y esta seguramente no va a ser la excepción.

El país está hoy centrado en las medidas de emergencia de atención y de respuesta a la crisis, pero pronto va a entrar en la fase de la reactivación por la recuperación. Ese va a ser el tema en los próximos meses, porque muy probablemente vamos a tener que impulsar la economía para que vuelva a arrancar. Por supuesto, esto no va a ocurrir espontáneamente, por lo que vamos a tener que adoptar medidas muy precisas, muy directas y efectivas para impulsar la economía, y ahí es donde entra la agenda de este foro, es decir, la agenda de la investigación y de las actividades que podemos desarrollar en el campo de la ciencia y la tecnología.

Tradicionalmente el criterio con el que se adoptan los programas de reactivación cuando pasan por el filtro de un ministerio de Hacienda es mirar dos grandes objetivos: primero, que sean proyectos de fácil implementación, rápidos y ágiles, es decir, proyectos que ya están en cierto sentido estructurados y que simplemente, al apropiarles más recursos fiscales, se puede acelerar su ejecución; el otro elemento es el efecto multiplicador, para lo cual el Gobierno va a tratar indiscutiblemente de buscar que los proyectos que se impulsen arrastren al resto de la economía y tengan el mayor dividendo posible en términos de crecimiento económico. Esa es la visión tradicional.

Por consiguiente, ¿cuál es el valor agregado que yo le doy a este debate que está teniendo lugar hoy? A esa ecuación, en la que hay dos variables objetivas –rapidez en la implementación y efecto multiplicador– hay que introducirle una tercera dimensión, y todos tenemos que contribuir a que en la toma las decisiones se considere no solo el efecto multiplicador y la facilidad de implementación, sino también su contribución a reducir los posibles cisnes blancos. Pero ¿qué son los cisnes blancos? Son fenómenos como el que estamos viviendo hoy en día, que son predecibles y que pueden ser totalmente disruptivos, por lo que pueden generarle a un país una situación como la que estamos viviendo, o sea una implosión económica, una caída brutal del ritmo de actividad económica, una disminución de ingresos y una disminución de empleo.

En este orden de ideas, tenemos que ser cuidadosos para evitar esos cisnes blancos. Hay uno que está anunciado, sobre el cual tenemos evidencias contundentes, que son los efectos del cambio climático. En muchos países del mundo todavía existen escépticos respecto al cambio climático, pero en un país como Colombia, que ha sufrido directamente sus efectos, hay menos dudas, porque la población lo ha sentido a través de sequías

prolongadas, inundaciones, aumento en el nivel del mar, erosión costera, destrucción de la biodiversidad, reducción de los páramos y reducción de nuestros glaciares en los nevados.

En este sentido, tenemos que buscar que la reactivación económica tenga un tercer objetivo: la reducción de los efectos del cambio climático. No debemos mirar solo el factor multiplicador y la facilidad de implementación, sino también ver que sean inversiones que ayuden a prevenir o evitar los futuros cisnes, porque un cisne blanco, como ya ha visto en esta coyuntura, puede ser tremendamente costoso.

Hay un trabajo reciente de un grupo de economistas y expertos en temas ambientales que hizo una encuesta sobre posibles intervenciones de recuperación económica en medio del covid-19, para clasificarlas en dimensiones y ver cuáles son aquellas que valdrá la pena impulsar más rápidamente. Al respecto, voy a presentar la gráfica central de un trabajo desarrollado por Cameron Hepburn, Joseph Stiglitz y Nicholas Stern, colaboradores muy conocidos en los temas de cambio climático. En ella hacen el cruce con el covid-19, y muestran dos dimensiones: una es el multiplicador de largo plazo y su efecto sobre el producto interno bruto (eje horizontal), y la otra es el impacto potencial sobre el cambio climático, lo cual nos muestra la importancia de reducir el efecto del cambio climático. En ambas dimensiones, cada marcador representa un tipo de intervención en política pública, por ejemplo, medidas de recuperación.

En función de lo planteado, quiero hacer énfasis en dos de ellas: la S es la infraestructura de conectividad. Ya lo mencionaban algunos panelistas, al decir que es evidente que este mundo se está moviendo hacia la digitalización, por lo cual una intervención que en este momento ayuda mucho a la recuperación, y que también tiene un efecto positivo en la reducción de los efectos del cambio climático, son las inversiones en conectividad, es decir, las inversiones S.

Por otra parte, otras de las inversiones más positivas desde el punto de vista de impacto sobre el cambio climático, con las cuales se busca mitigar el efecto del cambio climático, son las inversiones D. Estas inversiones representan una infraestructura energética limpia, es decir, energías renovables no convencionales, en particular la eólica, la solar, la proveniente de la biomasa, etc. Fíjense que D y S son dos tipos de intervenciones que pueden tener un enorme efecto, no solo desde el punto de vista de reducción de emisiones, sino al mismo tiempo un impacto positivo en el multiplicador.

Contrastan en el otro extremo las inversiones con muy poco efecto multiplicador y muy malas para el efecto del medio ambiente. Son las de tipo E, que tienen que ver con el rescate de las aerolíneas. Podría decirse que es muy posible que en Colombia tengamos que rescatar aerolíneas, pero hay que hacerlo de acuerdo con la responsabilidad con el cambio climático. Esos rescates deben venir de la mano de compromisos de las aerolíneas de convertirse en un tiempo razonable, por ejemplo, de aquí al 2050, en emisores netos nulos, es decir, con cero emisiones netas; esta es una buena forma para hacer una clasificación del tipo de intervenciones que requieren y que se pueden considerar por el Gobierno.

Ahora bien: hay unas intervenciones que representan una respuesta de emergencia. Por ejemplo, la atención directa casi humanitaria frente a la crisis, tal como los subsidios que se están dando para sostener el empleo y el ingreso económico de los hogares más vulnerables. Estas intervenciones son importantes como primera etapa, pero rápidamente tenemos que empezar a migrar hacia los paquetes de recuperación o de reactivación, aspectos en los que las energías limpias van a jugar un papel fundamental. Pero no podemos pensar solamente en términos de energía, sino también en intervenciones que

sean transversales. En casos como el de la electrificación del transporte público, por ejemplo, vamos a poder resolver problemas graves de congestión y de tiempos de recorrido en nuestras ciudades usando fuentes renovables de energía.

Es claro, además, que las inversiones en energía pueden ayudar a llevar soluciones de conectividad a regiones del país que todavía no tienen acceso a la banda ancha. En la medida en que podamos llevar la energía a esas zonas del país, también vamos a poder llevar la conectividad. Pero hay que trabajar integradamente entre los diferentes tipos de infraestructuras, ya que ese es el tipo de respuestas que se requieren en este momento y pueden dar el mayor dividendo.

Colombia todavía tiene problemas en la calidad de los servicios de infraestructura, no solo en el *hardware* empleado para mejorar la infraestructura física, sino también es la manera como la utilizamos, la manejamos, la operamos y la regulamos. Tenemos que pensar en términos de servicios, pues muchas veces nos concentramos solamente en la infraestructura y el capital físico. Tenemos que dar un vuelco para maximizar el uso de esa infraestructura, de manera que los temas de regulación y de manejo de esas inversiones sean igualmente importantes.

Sin duda, hay mucho que hacer en campos relacionados con el manejo de muchas de las empresas en los sectores de infraestructura, especialmente cuando se trata de empresas públicas. Este es un caso todavía más visible en sectores distintos a la energía, por ejemplo, el sector de agua potable, en el que tenemos mucho que hacer para mejorar la calidad en su manejo, en su administración y en su regulación.

Cabe destacar que todo lo anterior es la opinión de expertos que trabajan en los ministerios de Hacienda, en los departamentos de planeación, en los ministerios sectoriales y en las universidades sobre cómo clasificar el tipo de intervenciones de política pública en estas dos dimensiones: multiplicador en el sentido tradicional keynesiano e impacto potencial sobre el clima.

Termino con una reflexión: en Colombia hay un tipo de inversión que ha tenido una buena tradición por su efecto multiplicador, que es el de la construcción de viviendas. Creo que todos los ministros de Hacienda siempre hemos pensado que cuando se necesita reactivar la economía, lo más rápido y lo más ágil es subsidiar la tasa de interés para la compra de vivienda. Eso nos ha funcionado bien en el Gobierno pasado; funcionó bien en 2009, cuando se enfrentó la crisis financiera, y ya el Gobierno anunció esta semana subsidios a la tasa de interés para la compra de vivienda, pero esa decisión mira ante todo el efecto multiplicador, que es el efecto keynesiano. Sin embargo, tenemos que complementar este tema de los subsidios considerando un impacto positivo sobre el clima y sobre el cambio climático, es decir, implementar un tipo de construcción que contribuya a reducir emisiones de gases efecto invernadero, particularmente emisiones de dióxido de carbono. Esos tipos de vivienda deberían tener prioridad en estos programas de subsidio del Gobierno, pero deben existir unos criterios para que tales viviendas sean elegibles para otorgarles el subsidio; lo ideal sería que tengan fuentes propias de generación de energía.

Colombia es un país en el que la temperatura promedio es alta, y en muchas de estas viviendas lo ideal sería no depender de aire acondicionado o, de ser necesario, que haya unos mecanismos y/o estándares de aislamiento que aseguren el menor nivel de emisiones posibles. La política de vivienda no es ajena a esta discusión. Esta política debe incluir estándares que le permitan al Gobierno otorgar subsidios para la compra de vivienda, pero que al mismo tiempo los constructores diseñen viviendas que sean sostenibles desde el

punto de vista climático; ya hay empresas en otras partes del mundo que se dedican a construir exclusivamente este tipo de viviendas, que minimizan las emisiones de CO_2.

Doctor Forero y senador Agudelo: agradezco su invitación. Desafortunadamente, no podré quedarme, pero estaré muy atento y espero contribuir a la evolución de estas conversaciones. Mi filosofía en medio de esta pandemia es que hay que superar diferencias desde el punto vista político e ideológico y hay que ofrecer ideas y propuestas concretas. Por ejemplo, ayer propuse que el subsidio al empleo se les otorgue a los trabajadores formales, pero también a los trabajadores informales que se formalicen, es decir, no solo a quienes estaban en la nómina en abril, sino a quienes se puedan incluir a las nóminas de aquí en adelante. De esa manera se podrá lograr matar dos pájaros con un solo tiro, es decir, se podrá ayudar a millones de personas que están hoy sin ingresos, contribuyendo a su formalización; esto sería una gran inversión a largo plazo.

Debemos buscar la reactivación con miras a tener un doble dividendo en la recuperación desde el punto vista del crecimiento con el multiplicador keynesiano, pero también el doble dividendo de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mitigación de los problemas asociados al cambio climático; dos pájaros con un solo tiro debe ser el criterio con el que debemos trabajar de aquí en adelante.

La seguridad energética y la dependencia del petróleo en Colombia

Amylkar David Acosta Medina

Economista, exministro de Minas y excongresista liberal de La Guajira, con una larga trayectoria en temas energéticos.

Se desempeñó como concejal de Medellín en 1974. Después regresó a La Guajira, donde fue elegido concejal de Riohacha, y luego diputado de este departamento. También presidió la Cámara de Comercio de Riohacha.

Fue gerente de la Compañía Colombiana de Gas (Colgás) durante el gobierno del presidente Virgilio Barco. En el gobierno del expresidente César Gaviria fue viceministro de Minas. Fue miembro de las juntas directivas de Ecopetrol y la Federación Nacional de Biocombustibles.

Desde agosto de 1975 hasta la fecha, se ha desempeñado sin interrupción durante 42 años como docente universitario. Actualmente es docente en posgrado de la especialización en Derecho Minero Energético en la Universidad Externado de Colombia y en Universidad de los Andes.

Colombia, sin ser un país petrolero, es un país que depende demasiado de los hidrocarburos. La economía colombiana, como un todo, depende del petróleo. En los últimos años, las reservas de petróleo y gas han venido cayendo. De manera que, teniendo unas reservas muy precarias de petróleo y de gas natural, se depende en demasía de los hidrocarburos.

Es más: esas reservas precarias se ven afectadas por los precios internacionales del petróleo porque las reservas están en función de los precios. Se puede observar cómo, con precios de 60 dólares, las reservas del país estarían en 1891 millones, pero, si caen los precios, como en efecto han caído a 30-25 dólares, esas reservas se ven disminuidas sensiblemente.

Ahora bien, la única manera de detener la caída de las reservas es consiguiendo mayores pruebas. Hay tres alternativas: la primera, mediante el recobro mejorado, en la cual el país ha hecho un gran esfuerzo. Hay unos prospectos importantes fundamentales en gas. Por ejemplo, en la frontera, para encontrar mayores reservas, están los yacimientos convencionales, donde habría que utilizar tecnología hidráulica, más conocida como *fracking*.

La secretaria ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Christiana Figueres, sostiene que hay que agradecerles a los hidrocarburos por sostener la economía colombiana. Sin embargo, es una fuente que está comenzando a volverse obsoleta y, por tanto, hay que comenzar a buscar otras alternativas energéticas.

El año 2015 fue un hito muy importante para la energía. Se acordaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Tuvo lugar la cumbre de París con una serie de acuerdos programáticos. De allí sale Colombia, particularmente, con la intención de reducir sus emisiones de gas en un 20 % en los próximos años.

Se dispone de algunas herramientas, como los documentos Conpes y el propio Plan Nacional de Desarrollo, que entiende la riqueza nacional como activo estratégico. El resultado de esto es que el gasto actual está teniendo importancia en la medida en que piezas como el petróleo y sus derivados son menos contaminantes que la gasolina y el ACPM. Los estudios realizados demuestran que, a mediano plazo, se tendrá que convivir con el petróleo y sus derivados durante un rato más.

El punto, por tanto, es mejorar la calidad de los combustibles fósiles y, justamente, los biocombustibles. La mezcla de algunos elementos con el biodiésel contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente, por ejemplo, con la mezcla del 10 % de biodiésel, se están reduciendo 2,5 millones de toneladas de CO_2 cada año. Sumado a esto, se disminuyen 30 toneladas de material particulado anualmente. Adicionalmente, se tiene una capacidad instalada de generación de electricidad. Se han realizado estudios que demuestran el enorme potencial de las energías renovables.

La Ley 1715 establece un marco regulatorio para la creación e integración de las fuentes de energía convencionales y energías renovables a la matriz energética. Esta integración comenzó el año pasado. Se dio un salto muy importante, de una participación solamente del 5 %, a una participación del 11 % a pesar de la crisis.

Algo muy importante que hay que destacar de estas energías no convencionales, como la solar y la eólica, es que contribuyen a que tengamos una matriz firme y resistente frente al cambio climático. Otro elemento relevante es que Colombia tiene un consumo muy bajo

en energía eléctrica. Un gran reto que se tiene, y que incluye al aspecto de seguridad energética, es hacer un cambio en la economía, especialmente en el transporte.

Finalmente, quiero decir que es de vital importancia para la seguridad energética el uso racional y eficiente de la energía, como se ilustra en la gráfica que les presento. Definitivamente, la energía más costosa es aquella de la que no se dispone justo en el momento, y la más barata es la que se consume mediante el uso racional. Todo lo anterior se resume en la siguiente frase de uno de los consejeros del expresidente Obama, Mike Froman: "La seguridad energética, la economía, el medio ambiente, el cambio climático y la seguridad nacional están necesitados de analizar la cuestión energética; todos están interconectados y tenemos que verlo en perspectiva horizontal". Es decir, quizás la forma más idónea de analizar la cuestión energética es de manera holística para poder trazar una ruta clara con la pretensión de construir una seguridad energética.

La seguridad energética y el papel del gas natural en Colombia

Orlando Cabrales Segovia

Abogado de la Pontifica Universidad Javeriana y máster en Filosofía del Boston College. Se desempeña actualmente como presidente de la Asociación Colombiana de Gas Natural Nacional. Trabajó durante 16 años en BP, y los últimos seis años como vicepresidente jurídico para América Latina. Fue también viceministro de Energía y presidente de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, entre otros cargos.

Tengo algunas ideas que quisiera compartir con ustedes. La primera es el Plan Energético Nacional que publicó el Gobierno al principio del año, el cual mostraba cómo la electricidad y el gas natural representan hoy el 30 % de la matriz energética de Colombia, y estima que la evolución de la matriz va a llevar a que la electricidad y el gas natural, en veinte a treinta años, represente un 50 %, y que los combustibles líquidos, que hoy representan el 50 %, en 20 a 30 años lleguen al 30 %, de tal manera que habría una inversión completa de la participación de la electricidad y el gas natural, del 50 %, de la matriz energética en los próximos años. Obviamente, la velocidad con la cual eso ocurra dependerá de muchos factores económicos y tecnológicos, de políticas públicas, de acción climática, etc.

Por otra parte, la segunda idea tiene que ver con el rol del gas natural. Hasta ahora, tenemos diez millones de usuarios, de los cuales el 80 % corresponde a familias de estratos 1, 2 y 3, lo cual muestra la inmensa vocación social que tiene el gas natural.

En los últimos años hemos tenido un rol muy importante en la movilidad, sobre todo en vehículos livianos convertidos, y más recientemente, y con mucha fuerza, en materia de buses y también de transporte de carga, sector en el cual el gas natural va a jugar un rol muy importante, sobre todo en la movilidad de vehículos pesados debido a que la reducción de material particulado en el gas natural es de casi el 100 % y, como bien saben ustedes, el material particulado es el principal contaminante que afecta la calidad del aire en las ciudades.

Así pues, se pronostica un rol creciente del gas natural en la movilidad, junto con la electrificación, pero se debe hacer un esfuerzo conjunto y pensar en un 100 % de electrificación en el transporte. Esto es una meta bastante ambiciosa, que puede ser complementada con el uso del gas natural por sus propiedades ambientales. También hemos visto que la industria es un consumidor importante del gas natural. Todo esto nos indica que hay mucho por hacer, pues hay industrias ubicadas en las ciudades colombianas, que todavía son muy contaminantes, y convertirlas a gas natural va a ayudar a reducir considerablemente la contaminación.

Tenemos grandes retos para el futuro, y la ministra ya habló de eso en materia de reservas. Tenemos que seguir trabajando en desarrollar yacimientos convencionales y no convencionales, porque en convencionales tenemos todavía mucho recurso contingente que está embotellado por temas sociales y ambientales.

También se debe considerar el tema del gas metano asociado al carbón. Sabemos que este es un país inmensamente rico en carbono, con gas metano atrapado en esos yacimientos. Debemos entonces priorizar el desarrollo de esos recursos, lo cual puede hacerse perfectamente conectándolo al mercado internacional, como ya lo tenemos en Cartagena y como eventualmente se tendrá en el Pacífico.

Tenemos inversiones hacia adelante en infraestructura, sobre todo de transporte. Mucha de esa infraestructura de transporte está contemplada en el Plan de Abastecimiento Nacional, de 2000 millones de dólares. Algunos de esos proyectos están en ejecución y otros se encuentran en la etapa de estructuración.

A manera de conclusión, quiero dejarles una reflexión: el hidrógeno que hay en abundancia en el planeta es el nuevo gas y es absolutamente renovable, y puede ser transportado y utilizado en la infraestructura de transporte y distribución, pero esa es una apuesta más a largo plazo. Por supuesto, algunos países han venido trabajando en eso, como Japón, pero Colombia, desde el punto de vista de desarrollo tecnológico, no puede olvidar que la utilización de ese recurso se va a presentar más adelante. Así que, si se hace una

combinación de los distintos elementos, una mayor electrificación, por un lado, y una mayor participación del gas natural, por el otro, y con un gas absolutamente renovable, como lo es el hidrógeno, podemos complementar la evolución de la matriz energética para cumplir con las metas ambientales que tiene el país.

Hacia la seguridad y autosuficiencia energética en el sector del gas en Colombia[2]

Jorge Hernán Cárdenas Santamaría
Juan Manuel Moya

El doctor Cárdenas Santamaría es director de la firma Oportunidad Estratégica. Es ingeniero industrial de la Universidad de los Andes, magíster en Economía de la Universidad de Minnesota y magíster en Administración del Sloan School of Management en MIT. Fue vicerrector general de la Universidad Nacional de Colombia, asesor y consejero presidencial en el gobierno del expresidente Gaviria, asesor especial del secretario general de la OEA y decano de la Facultad de Administración de la Universidad de los Andes. Ha sido profesor del área de estrategia de la Facultad de Administración de Uniandes por cerca de ocho años.

Juan Manuel Moya es ingeniero industrial con énfasis en gestión organizacional e investigación de operaciones de la Universidad de los Andes. Cuenta con cinco años de experiencia en consultoría estratégica y financiera, estructuración y evaluación de proyectos. Ha participado en proyectos específicos de planeación estratégica, investigación de mercados, fortalecimiento institucional, estructuración en infraestructura, análisis financiero, modelación de negocios y emprendimiento. Tiene gran interés por el desarrollo sostenible, el desarrollo rural y la construcción de paz. Es apasionado por el deporte y el medio ambiente.

---

[2] Jorge Hernán Cárdenas y Juan Manuel Moya son consultores de la firma Oportunidad Estratégica SAS. Cualquier comentario será bienvenido y se puede hacer en: contacto@oportunidadestrategica.com.co

Introducción

El presente documento expone los desafíos del sector del gas natural en Colombia en el contexto de la búsqueda de la seguridad energética, y permite entender por qué este es un concepto tan importante para nuestro país hoy en día.

El sector energético se orienta hoy por tres criterios: acceso eficiente y económico, acceso confiable y acceso sostenible, y el acceso actual no debe comprometer la capacidad de las nuevas generaciones para lograr el abastecimiento. Entendido este concepto de forma general, se analiza el sector de gas en particular, haciendo un diagnóstico de la situación actual, sus perspectivas de abastecimiento, el análisis de variables clave como el actual nivel de las reservas, las cifras de consumo y la producción.

Adicionalmente, explicado el contexto actual a nivel nacional e internacional, expone los retos a los que se enfrenta la política pública del gas en el corto y el mediano plazo. Se hace un esfuerzo para argumentar por qué el gas es considerado por muchos autores el energético de la transición en la matriz energética hacia energías renovables. Se recuerdan igualmente las políticas "Gas para el Cambio", que ha promovido el país desde los años 90, y los resultados alcanzados y los retos inmediatos. En buena hora el foro de Seguridad Energética, organizado por el Congreso de la República con el liderazgo del senador Iván Darío Agudelo, permite poner en perspectiva este desafío particular y tiene singular importancia, pues privilegia la seguridad energética como un aspecto central del desarrollo del país.

Para iniciar, puede decirse que sin seguridad energética difícilmente el país podrá alentar una estrategia de desarrollo nacional integral, que promueva la inclusión, la producción y el empleo. Por esto, una buena estrategia de desarrollo va a requerir en el futuro cercano unos precios de energía asequibles para todos, con provisión eficiente de energéticos y mediante una oferta que además sea sostenible y ambientalmente amigable.

La seguridad y la autosuficiencia energéticas son entonces conceptos relevantes y fundamentales para el país, puesto que se refieren a la gestión de recursos propios para garantizar el suministro de energía, reduciendo la dependencia de otros países. Ninguna estrategia de desarrollo nacional puede prescindir del componente energético.

Seguridad y autosuficiencia pueden ser conceptos muy interrelacionados y que en ocasiones pueden ir de la mano. La seguridad se logra teniendo también autosuficiencia y capacidad de desarrollar recursos propios. Pero esto no siempre es verdad. La seguridad es más importante que la autosuficiencia, pues la seguridad se relaciona con el acceso a energéticos eficientes, económicos y sostenibles, que es en últimas lo que país requiere.

De manera que el foco debe estar en la seguridad energética. Ahora, si la seguridad se puede lograr con autosuficiencia, pues mejor aún, ya que sería el mejor escenario posible.

Otro concepto central es la sostenibilidad, lo cual significa que se focaliza en el principio de que la oferta tiene la calidad de ser sustentable, involucrando los conceptos sociales, ambientales y económicos con una mirada de largo plazo. Esto puede lograrse con la generación propia a partir de fuentes locales renovables, disminuyendo el consumo de los recursos de origen fósil, por definición no sostenibles, y que además emiten gases de efecto invernadero (CAF, 2013).

En el mundo hay 193 países que forman parte de las Naciones Unidas. Para cualquiera de estos países, lo fundamental en materia de energía y desarrollo es hacerse las siguientes tres preguntas:

- ¿Tiene el país acceso energía a precios económicos?
- ¿Tiene el país acceso confiable y eficiente?
- ¿Tiene el país una energía sostenible y continuada y con buen manejo del ambiente? Es decir, ¿ha migrado el país hacia fuentes confiables y renovables en el acceso a la energía?

Bien sabemos que desde la "Comisión Brundtland", de 1987, en el seno de las Naciones Unidas se impuso el criterio de buscar un desarrollo sostenible, que en el caso energético sería un desarrollo que atienda las necesidades de la generación actual, pero sin llegar a comprometer ni privar del acceso y del abastecimiento energético a las nuevas generaciones. Hoy, además, queremos una sostenibilidad que permita reducir su incidencia en el cambio climático. De ahí que se hable de una matriz energética cada vez más sostenible, como una condición *sine qua non* para avanzar en el desarrollo nacional. En resumen, habría que hacerse esta pregunta: *¿tiene el país una matriz energética que permita manejar la sostenibilidad ambiental?*

Uno de los promotores de la autosuficiencia energética es el Banco Mundial (2014). Su iniciativa "Energía Sostenible para Todos" busca estrategias para que cada país diversifique la matriz energética a partir de fuentes renovables y limpias, y que las alternativas energéticas estén al alcance de todos en una visión de largo plazo.

La autosuficiencia exige igualmente el acceso universal, acelerando las mejoras en términos de eficiencia y aumento de la cuota global de energía en cada país para 2030. Es decir, una estrategia que propenda a desarrollar fuentes de energía que tengan un mayor alcance a un menor costo, buscando que toda la población pueda acceder a la energía en la fecha límite prevista, a través de energía económica, limpia y sostenible.

Cada país debe determinar su propio camino para alcanzar las aspiraciones energéticas (Banco Mundial, 2014). Ahora bien, los gobiernos sí deben desarrollar estrategias que tengan en cuenta las oportunidades y retos que son propios y connaturales del país. No hay dos países del mundo dotados con las mismas realidades energéticas. Cada país tiene sus atributos propios y, por tanto, sus estrategias propias.

Por último, una consideración central y contemporánea se refiere al desafío, ya hoy global, de equilibrar la matriz energética para mitigar los efectos del cambio climático a través del desarrollo de fuentes innovadoras[3].

[3] David R. Heres del Valle, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2015. "El cambio climático y la energía en América Latina", 55 p.

La GIZ, en su programa de cooperación alemán en América Latina, parte de un principio claro: "Muchas inversiones en los países en desarrollo están expuestas a riesgos climáticos. Los cambios graduales del clima y los fenómenos meteorológicos extremos causan daños a la infraestructura e interrumpen los servicios públicos. El desarrollo económico de un país puede verse afectado fundamentalmente por ello"[4]. Esto para mencionar que es bueno mirar la oferta energética actual en el contexto del cambio climático.

De otro lado, en el acceso a la energía, el adelanto tecnológico, la investigación asociada y las inversiones necesarias permiten suponer que se tendrán implicaciones en términos de los costos y, por tanto, en un eventual incremento de las tarifas. Este factor debe controlarse con el fin de que estas fuentes innovadoras sean implementables y asequibles por parte de la población, particularmente de la población que tiene una deficiente conexión a las redes de provisión del servicio (BID, 2017).

Al respecto, el Banco Mundial (2014) considera que las estrategias de acceso a la energía también deben centrarse en la población vulnerable, con un enfoque prioritario de acceso universal. La seguridad y la autosuficiencia energéticas son necesarias además para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza puesto que habilitan el desarrollo de negocios, la creación de empleos, la generación de ingresos y la competitividad internacional. También son relevantes si se tiene en cuenta que el uso energético es un factor habilitante para el acceso a la salud y la educación.

En las áreas rurales, remotas o aisladas, las soluciones posibles están fuera de la red, centradas en energías renovables, y cuentan con una combinación de tecnologías energéticamente eficientes, cuya implementación podría ser una solución más rápida, rentable, replicable y escalable (BID, 2020). Así las cosas, el uso de la energía permitiría que estas zonas alejadas tengan la posibilidad de habilitar los servicios de cocina, iluminación y refrigeración, entre otros.

Es de mencionarse también que, para zonas no interconectadas, existen esfuerzos relevantes, tales como el apoyo creado hace unos años por medio del "Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP)". El programa busca la energización rural sostenible, y opera con el apoyo del Instituto para la Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), autoridades ambientales regionales (CAR), gobernaciones y alcaldías, organizaciones comunitarias (resguardos indígenas, consejos, cabildos), ONG y el sector privado[5].

Panorama del gas en Colombia

En el gobierno del presidente Virgilio Barco Vargas, 1986-1990, siendo ministro Guillermo Perry Rubio, se puso en marcha el programa de "Gas para el Cambio", con miras a masificar su uso en Colombia. Según el periódico *El Tiempo* de la época, "el primer obstáculo que históricamente frenó los planes masivos de consumo de gas fue la insuficiente cantidad de reservas. Los únicos yacimientos probados eran los del departamento de La Guajira, con

[4] Ver, por ejemplo, "Inversiones públicas resilientes al cambio climático, inversión pública y adaptación al cambio climático en América Latina (IPACC II)", Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU, Deutsche Gesellschaft fürInternationale Zusammenarbeit (GIZ), agosto de 2018.

[5] Ver los trabajos de José Eddy Torres, director del programa "Hacia la energización rural sostenible", USAID, 2011-2016.

cerca de tres trillones de pies cúbicos de gas, hidrocarburo que permitiría abastecer la demanda por un lapso de diez años"[6].

Hay que recordar que el gas natural licuado (GLN) de Chuchupa en La Guajira no llegaba al centro del país, y tampoco se utilizaba para llegar a los sectores populares de las grandes ciudades de la costa. En general, era difícil que se accediera a entregarlo a todo el país, por lo que se usaba en las térmicas e industrias de la costa Caribe.

En estos años se introducen varias reformas, como la de reconocer regalías a todo el departamento de La Guajira a cambio de permitir que el gas pudiera llegar a todo el país. Lo mismo sucedió con el gas de Apiay (Meta), que ni siquiera se explotaba y que, luego, con su transporte a Bogotá, fue decisivo para empezar con la gasificación del sur de la capital y la eliminación del cocinol[7]. Toda esta política fue compleja pues conllevó grandes cambios en la cultura del país, en las normas y en los incentivos. Pero puede decirse que fue una política exitosa[8].

Esta visión del ministro Perry se cumplió. Hoy en día, más de 9,5 millones de hogares están conectados a las redes del gas, es decir, el 65 % de la población; es una verdadera revolución silenciosa. Un total de 560.000 vehículos usan el gas natural comprimido (GNC), y no menos de 300.000 comercios y restaurantes usan este energético. Estos datos son antes de la pandemia del coronavirus, pero igualmente son relevantes en el momento actual.

Esto no es todo. Cabe mencionar adicionalmente que no menos de un 20 % de la energía eléctrica en Colombia se produce en térmicas de gas. De esta manera, el gas es un energético importante y por tanto es relevante estudiar las condiciones de acceso a este recurso en el corto y el mediano plazo.

El panorama en Colombia frente a la diversificación y la sostenibilidad energética en Colombia es alentador teniendo en cuenta que se considera como una de las matrices más limpias en el mundo (BID, 2020). Lo anterior, considerando que las cifras de 2019 reportaban que el 69,69 % de la energía responde a generación hidráulica y 28,93 % a generación de fósiles, y el 1,38 % restante se genera por medio de fuentes no convencionales de energía renovable, como energía eólica, solar y biomasa. En relación con la energía de combustibles fósiles, se encuentra que esta, a su vez, está compuesta por el gas natural, con una participación del 13,3 %, el 8,7 % producido por carbón y el 7 % por combustibles líquidos. En total, un 28,93 % por generación de fósiles (Acolgen, 2020).

[6] "Colombia en la era del gas": Jaime Mejía Mazuera, periódico *El Tiempo*, 8 de febrero de 1993.
[7] Esta era una gasolina especial, muy inflamable y que, año a año, dejaba cientos de quemados.
[8] Para un análisis en más detalle, el lector puede referirse al libro de Guillermo Perry e Isabel López Giraldo, *Decidí contarlo*, Penguin Random House, Grupo Editorial, agosto de 2019.

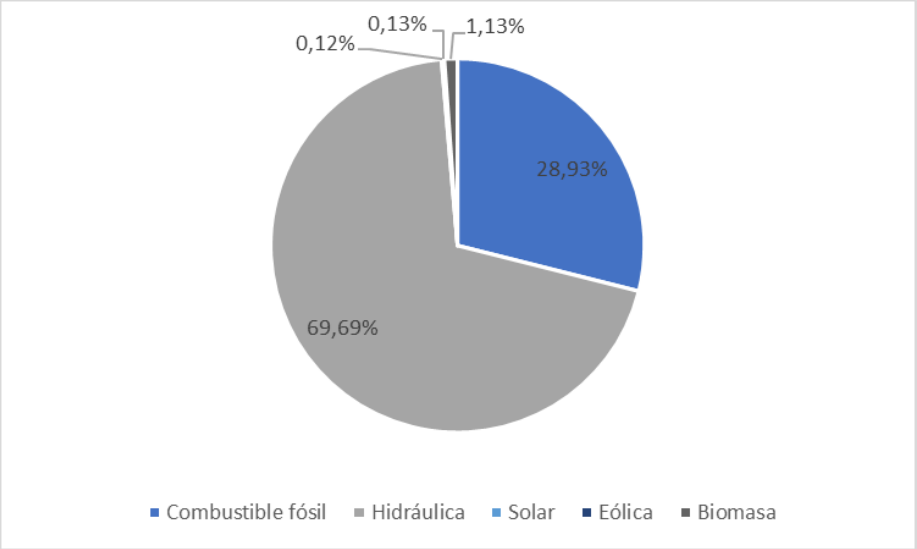


Ilustración 1. Distribución de la matriz energética en Colombia
Fuente: (Acolgen, 2020).

Ahora bien, esta configuración de la matriz energética implica que la dependencia del recurso hídrico es bastante alta, convirtiendo el sistema eléctrico colombiano en un sistema que podría ser vulnerable, sujeto a la volatilidad de diferentes escenarios climáticos e hidrológicos y, por tanto, afecta la seguridad energética del país. Esto hace más pertinente tener análisis muy detenidos sobre estos temas y sobre energéticos para la transición, como el gas.

Adicionalmente, hoy en día nos enfrentamos a una situación crítica extraordinaria debido a que el nivel de los embalses se encuentra en el orden del 32 %, siendo el nivel más bajo en los últimos veinticinco años. Esta situación es relevante considerando los impactos que puede generar una situación extrema, como el fenómeno del Niño.

En consecuencia, los impactos climáticos que han generado con inusitada fuerza las sequías prolongadas y la imprevisibilidad del clima muestran cómo la sostenibilidad de la generación energética del país recae en alguna medida en la redundancia que ofrezca la energía térmica, alimentada con GNL. Esta fuente alternativa cubrió cerca del 50 % de la demanda en periodos secos, como en los eventos que se presentaron entre 2009-2010 y 2015-2016 (Acolgen, 2020).

Por su parte, al analizar la composición de las fuentes térmicas se encuentra que estas dependen en su gran mayoría del gas natural licuado (GNL) para mantener una operación confiable, económica y segura para el parque de generación térmica en el país (BID, 2020). Frente a estas cifras, es pertinente mencionar que, en lo corrido de 2020, la terminal de regasificación ubicada en la ciudad de Cartagena ha contribuido en la generación del 22 % de la demanda de energía con la entrega de más de 7000 pies cúbicos a las principales plantas del país (Acolgen, 2020).

Ahora bien, la importancia del gas no solo debe analizarse a partir de la contribución que tiene para las centrales térmicas del país, sino frente a las prospectivas que se han realizado respecto al consumo de este energético no solo en Colombia sino en el mundo.

De acuerdo con el estudio realizado por la Agencia Internacional de Energía en su reporte "World energy Balance" en 2019 (IEA, 2020), se expuso cómo el recurso gas en 2017 representaba el 23 % del total de la matriz energética mundial. Al realizar las proyecciones

a 2040, se encuentra que su producción llegará al 25 %, y por tanto tendrá que crecer en un 46 %. Al 2040 se espera no solo que la producción mundial de energía aumente, sino que las energías renovables cobren un papel relevante.

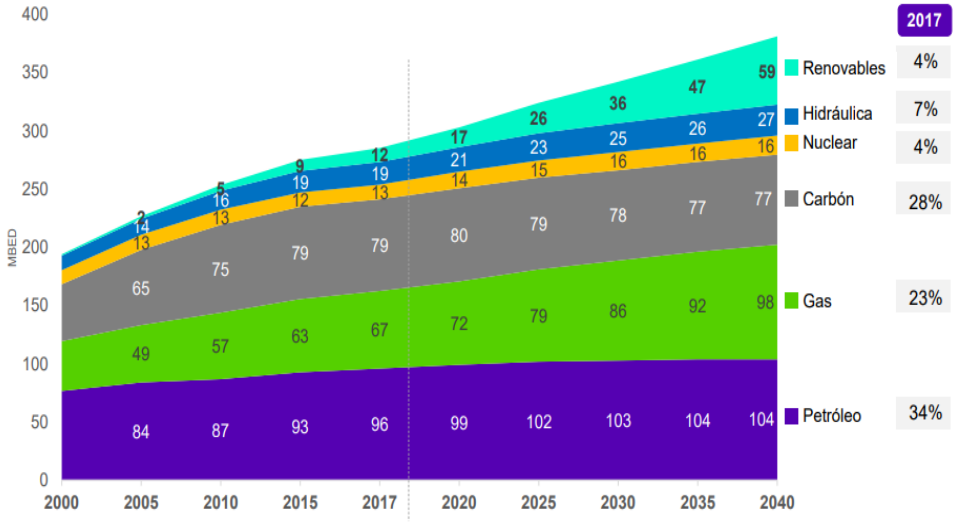


Ilustración 2. Proyección de la producción mundial de energía a 2040
*Fuente***:** (IEA, 2020)

Según la gráfica anterior, energéticos como el petróleo y el carbón se mantendrán estables, perdiendo participación debido al aumento de la representación del gas, así como de las energías renovables (Minenergía, 2020), tendencia que se mantendría en Colombia, de acuerdo con las proyecciones que realizó el Ministerio de Energía (Minenergías, 2019).

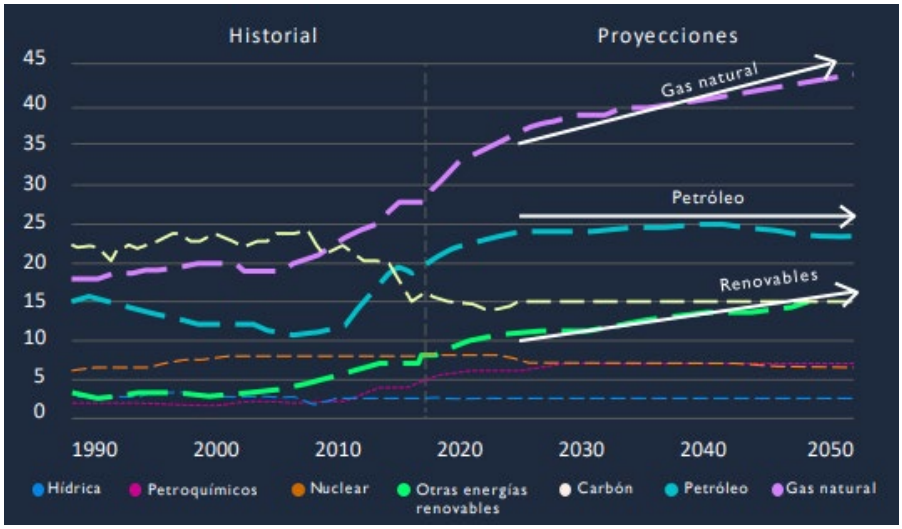


Ilustración 3. Proyección de la producción energética en Colombia para 2050
Fuente: (Minenergía, 2020). Datos sobre producción mundial de energía (cuatrillones de unidades térmicas británicas. *Fuente*: Energy Information Agency

Como puede verse en la ilustración 2, según Energy Information Agency, con datos para la producción mundial de energía, el gas podría tener papel preponderante en la transición hacia energías renovables y será uno de los energéticos más utilizados, mientras que el

petróleo se estabilizará, y los renovables irán en ascenso hasta el 2050. La energía hídrica y la nuclear estarán estabilizadas. Esto, para mencionar la importancia estratégica que tendrá el gas en las próximas décadas, razón de más para mirar en detalle la estrategia país en este campo.

Abastecimiento del gas natural licuado (GNL) en Colombia

Dicho lo anterior, es necesario partir del entendimiento del estado de este sector en términos de las proyecciones de las reservas del país, y los desafíos que se tienen en el corto y el mediano plazo. Asimismo, es necesario comentar la urgencia en las estrategias de exploración e investigación para su producción y explotación y, finalmente, la urgencia de acciones necesarias para garantizar el nivel de consumo de la población y el sector productivo.

Diferentes estudios que ha realizado el Ministerio de Minas y Energías (2019) señalan que el incremento del consumo demanda un esfuerzo mayúsculo en aumentar las reservas y la producción para los próximos años. Esto, considerando que actualmente se cuenta en reservas recursos equivalente solo a 3,1 gigapies cúbicos, es decir, solo sería suficiente para abastecer el consumo durante los próximos 8 años (Minenergía, 2020).

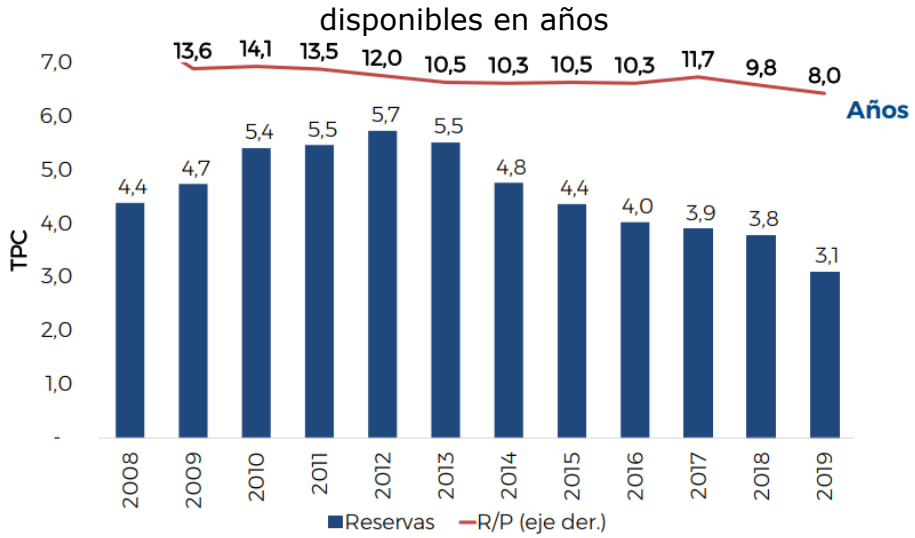


Ilustración 4. Evolución de las reservas y proyección de la cantidad de recursos
Fuente: (Minenergía, 2020)

Como lo muestra la figura, el incremento del consumo de gas natural ha implicado que se utilicen las fuentes disponibles en aras de suplir la creciente demanda que se ha presentado desde 2008.

Es posible que el consumo *per capita* de gas vaya en aumento, conforme las familias adquieran más electrodomésticos de gas, o que usen este recurso para calentar agua en las casas, y también por el mayor uso del gas a nivel industrial y comercial, además del crecimiento orgánico del consumo como consecuencia del acceso a vivienda nueva.

Ahora bien, ante este escenario de crecimiento del consumo y en el caso de no encontrar nuevas fuentes, el país podría necesitar importar gas de manera transitoria o permanente para suplir la demanda de gas domiciliario en algunas zonas del territorio. Dados los costos de importación, el efecto económico implicaría que las tarifas podrían elevarse, y algunas

personas hablan de que llegarían al doble de las tarifas actuales y con las que se ofrece internamente, generando efectos negativos en términos de acceso y expansión de la red de provisión del servicio y el impacto en el gasto de las familias.

Como se muestra a continuación, al realizar la proyección, tanto del creciente incremento de la demanda como de la reducción de la oferta, se encuentra que, aproximadamente a inicios de 2024, las reservas serían insuficientes y será el momento en el que posiblemente debería estarse importando este recurso, el cual irá adquiriendo importancia a lo largo de los años (BID, 2020)[9]. Las importaciones no serían pertinentes si aparecen reservas nacionales. De lo contrario, sí es un escenario que es necesario precaver y advertir.

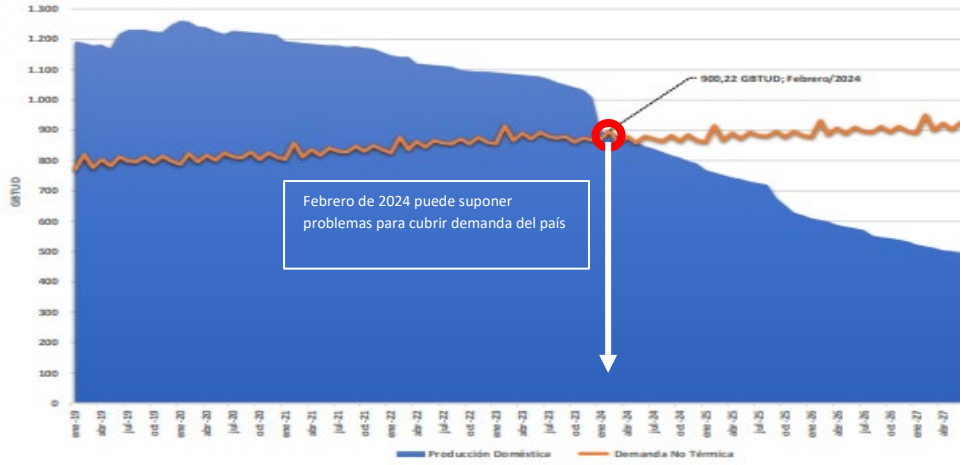


Ilustración 5. Proyección de la demanda y la oferta de gas natural en Colombia
Fuente: (BID, 2020)

Esta reducción de las reservas está asociada al estancamiento en nuevos hallazgos y agotamiento de las reservas actuales y al continuado aumento del consumo de gas, que se ha venido presentando desde 2018, cifra que ha venido creciendo a una tasa del 16 %.

Dicho lo anterior, se debe proceder a la importación de gas natural o a la explotación y búsqueda de nuevas fuentes de gas en el país. Como se mencionó, la importación supone un reto de la construcción de nueva infraestructura habilitante, en materia portuaria y de transporte y de redes. Pero la importación requiere también examinar detenidamente todas las implicaciones en costos, mientras que la explotación y la búsqueda también suponen destinar recursos de inversión que permitan identificar y encontrar nuevos yacimientos y que estos a su vez tengan en cuenta el impacto medioambiental y social que se derivan de su explotación y logren buenas estrategias de manejo ambiental y social.

Como respuesta a todos estos retos, el Gobierno nacional ha planteado una estrategia general desde Ecopetrol para los próximos años, centrada en competitividad y sostenibilidad del sector (Ecopetrol, 2019). Para esto ha planteado tres objetivos fundamentales: i) crecimiento de reservas y producción, ii) proyección de la caja y eficiencias en costos y iii) estricta disciplina de capital. Esto, aplicado a todos sus negocios,

[9] Consultoría en apoyo a la Misión de Transformación Energética en los temas de abastecimiento, comercialización, transporte, almacenamiento, regasificación, demanda, aspectos institucionales y regulación de gas natural. White paper, trabajo conjunto, BID, Banco Mundial, realizado por Carmenza Chahín, Ana María Ferreira, David Madero y Miguel Vásquez, Bogotá, enero de 2020.

entre estos el gas. A su vez, la estrategia de Ecopetrol estaría soportada en cinco pilares clave, como lo son la explotación de campos actuales, la internacionalización, la exploración en Colombia, el fortalecimiento de la infraestructura de transporte y las importaciones.

Cabe anotar que el portafolio de Ecopetrol es hoy un 80 % crudo y un 20 % gas, y se espera llegar al 2030 a un 65 % en crudo y 35 % en gas en el 2030. Esto, en función de la transición de la matriz energética del país.

Dicho lo anterior, es evidente que el Congreso de la República, el sector privado, Ecopetrol y el Gobierno nacional deben dar todos señales claras y necesarias para que esta industria del gas pueda despegar en Colombia. Difícilmente la industria hará las inversiones de transporte y de almacenamiento y distribución sin la garantía del abastecimiento.

Lo primero es anotar que a partir de marzo de 2020 se creó la Vicepresidencia de Gas en Ecopetrol, elevando su jerarquía en la empresa y ubicándola organizacionalmente dentro de la Vicepresidencia Ejecutiva Operativa. Este cargo, con esta denominación, no existía. Es un paso claro e indicativo de que el propio Ecopetrol está tomando ahora mucho más en cuenta el negocio del gas. La nueva vicepresidencia queda ahora ubicada al mismo nivel de otras vicepresidencias, como Producción, Exploración, Refinación, etc. Es decir, el gas se sitúa organizacionalmente a un muy alto nivel en Ecopetrol.

Según el presidente de Ecopetrol en su participación en el Foro de Naturgás en 2019, en el negocio del gas en Colombia están previstas varias actuaciones estratégicas. Mencionaremos las principales: (i) una eventual planta de regasificación en el Pacífico, (ii) trabajo *onshore* en varias partes de Colombia, en el piedemonte llanero, y yacimientos no convencionales (estos propiamente en la cuenca del Magdalena medio, Cesar-Ranchería y Catatumbo); (iii) trabajo *offshore*, en la costa Caribe colombiana; (iv) gas natural vehicular. Adicionalmente, se afirma que el gas ofrece oportunidades materiales de importancia para el grupo y un buen margen operativo.

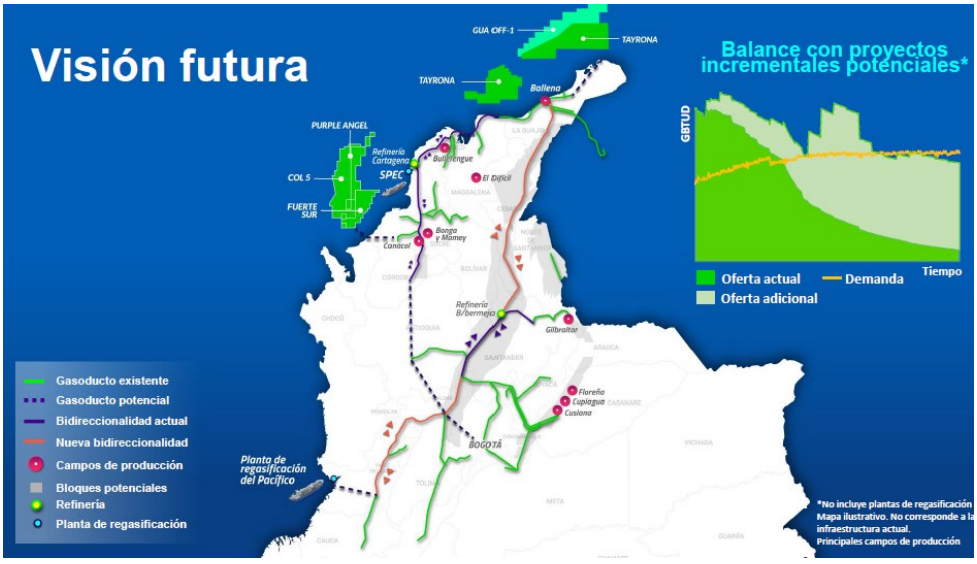


Ilustración 6. Mapa de proyección de expansión de la red de gas en Colombia
Fuente: Felipe Bayón, presidente de Ecopetrol, Foro Naturgas, 2019

Ecopetrol ve su actividad a través del tiempo, trabajando en desarrollar el potencial *onshore*, el potencial *offshore*, el potencial YNC no convencionales y la regasificación. También se tiene la meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En

consecuencia, mirando el tema de seguridad y autosuficiencia energética del país, y la transición en la matriz energética, el futuro parece marcado por los planes de *offshore* y *onshore*, el crecimiento de los no convencionales y, eventualmente, regasificación. La seguridad energética en materia de gas podría depender de cómo se manejen estas variables.

Factores a tener en cuenta para lograr la sostenibilidad energética en el sector del gas

Al analizar la agenda planteada por el Ministerio de Minas y Energía y Ecopetrol y contrastarla con los casos internacionales y otras experiencias, se encuentra que existen tres factores que agrupan una serie de condiciones que deben desarrollarse y ser considerados dentro de la hoja de ruta del país para lograr la sostenibilidad (CAF, 2013).

El primero, a muy largo plazo, es no perder de vista la creación de una hoja cierta de ruta regional de integración de un sistema que conecte los centros de demanda con las principales fuentes energéticas de la región, permitiendo incluir los conceptos de sostenibilidad ambiental, económica y social (CAF, 2013).

De otro lado, las políticas de esta hoja de ruta regional deben también articularse y desarrollarse de forma coordinada a su turno entre la Nación, los departamentos y los municipios, permitiendo establecer un marco político regulatorio y contractual adecuado que, a su vez, se articule con la política ambiental para la preservación de la biodiversidad de las fuentes hídricas (Banco Mundial, 2014).

Dada la complejidad de este sector, es importante mencionar que las políticas públicas que se creen para la implementación de esta hoja de ruta deben tener un enfoque de largo plazo. Se menciona esto, debido a que en los últimos años se han presentado problemas relacionados con el enfoque, la planeación y la regulación sectorial, como consecuencia de la visualización del futuro del sector basada en las perspectivas y expectativas de la producción doméstica, y no en garantizarles a los consumidores finales que pueden contar con garantía de suministro en el mediano y el largo plazo (BID, 2020).

Es necesario atender todas las alertas de racionamiento en el sector de gas y, por ende, en el sector eléctrico. Así las cosas, se debe propender a incrementar la oferta de este energético identificando alternativas que le brinden sostenibilidad en el largo plazo al sector. Esto puede ser mediante la incorporación de recursos convencionales y/o no convencionales a la oferta doméstica o a través de importación (BID, 2017).

Otro factor relevante se refiere al aumento de los recursos que se destinan para la investigación y la transferencia tecnológica que debe desarrollarse en aras de desarrollar proyectos que permitan generar energías más limpias de forma conjunta entre el Gobierno, la academia y el sector privado (UPME, 2015). La cooperación y el fomento de los lazos de comunicación permitirán avanzar en la construcción de una cultura de innovación que no solo permita la incorporación de nuevas tecnologías, sino que establezca los caminos para conducir la innovación científica y la formación del capital humano que logre atender las necesidades del mercado, articulando y aplicando los hallazgos científicos en el sector productivo.

De acuerdo con la UPME (2015), el país cuenta con una trayectoria relevante en procesos de ciencia, tecnología e innovación en el sector minero-energético, a partir de los cuales se han logrado resultados satisfactorios en términos generales. A su vez, resalta la importancia de avanzar en el proceso de implementación del Plan Estratégico de Ciencia,

Tecnología e Innovación propuesto para el periodo 2013-2022. En este se revisaron y analizaron diversos planteamientos que se han venido haciendo en términos de las capacidades del sector para realizar procesos de investigación, desarrollo e innovación, así como la identificación de necesidades y oportunidades de las empresas.

Así las cosas, la investigación aplicada en nuevas tecnologías y la transferencia de conocimiento para el desarrollo de la actividad de forma sostenible y responsable con el medio ambiente y las comunidades debe apalancarse tanto en la articulación del sector público, el sector privado y la academia, como en la aplicación de políticas públicas que generen estímulos para fomentar el estudio de estas actividades, dinamicen el mercado y articulen el aprovechamiento de recursos naturales con la aplicación de normas técnicas, adopción de estándares internacionales y buenas prácticas.

Por último, el tercer factor se enfoca en los costos de infraestructura y optimización de los modelos logísticos para que se logren desarrollar los mecanismos y los activos para realizar una distribución masiva, cumpliendo con el concepto de acceso universal y de atención a la población vulnerable (BID, 2020).

Ilustración 7. Proyección de la infraestructura de gas en Latinoamérica
Fuente: Energy markets in Latin America, emerging disruptions and the next frontier, 2017 International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank

Frente a la infraestructura regional es importante mencionar cómo a nivel regional se ha llegado a contemplar la importancia de la integración y la articulación a través de la construcción de diferentes gasoductos en diferentes países. Por ejemplo, la construcción de infraestructura de transporte de gas entre países, como Venezuela, Brasil y Uruguay, permitiría integrar toda la red, buscando reducir los costos de la energía para asegurar la asequibilidad de los hogares y la competitividad de la industria.

Algunas conclusiones y recomendaciones para tener en cuenta

Considerando el diagnóstico del sector planteado, en el que se evidencian los diferentes retos y las discusiones que deben generarse con miras a construir una política pública que asegure la autosuficiencia y la sostenibilidad del sector energético en Colombia, en el cual

el sector del gas jugará un rol preponderante, se plantean las siguientes conclusiones y sugerencias basadas en las recomendaciones que se han hecho desde la banca multilateral:

1) Visto lo anterior, el GNL es un energético estratégico en las próximas décadas a nivel nacional e internacional, obligando al país a ser cuidadoso en todas sus decisiones en este campo.
2) Ante la encrucijada en la que se encuentra el país en materia de abastecimiento y dados los niveles de reservas, el incremento del consumo y los lentos niveles de producción, se debe pensar cuidadosamente en todas las alternativas para el abastecimiento de gas. Esto exige considerar políticas de *onshore, offshore* y YNC.
3) Adicionalmente se deben considerar excepcionalmente las importaciones si las circunstancias lo exigen. Claro que el foco principal de la estrategia debe ser el autoabastecimiento, pero es bueno hacer cálculos realistas y contemplar todos los escenarios. También se debe considerar el tiempo razonable de poner en marcha nueva infraestructura de regasificación en el Pacífico si esta alternativa es consideraba razonable en los estudios correspondientes, pues la ventana de tiempo de autosuficiencia es corta, a menos que se tenga éxito en el hallazgo de nuevas fuentes de energía.
4) Se deben desarrollar nuevos procesos de priorización de búsqueda de nuevas fuentes para diversificar la oferta disponible. Esto también debe hacerse pensando en un marco de sostenibilidad.
5) Paralelamente con lo anterior, es necesario continuar con la diversificación de la matriz energética a través de otras fuentes que garanticen el suministro en el largo plazo, el acceso y el alcance de toda la población, con el gas como el energético de la transición[10].
6) Se debe seguir profundizando y evaluando todas las estrategias de gestión conservadora y cuidadosa de la energía, así como los incentivos para el uso racional de la energía y su demanda.
7) Se debe propender a energizar las áreas rurales no conectadas o aquellas que tengan un nivel de conexión precario, permitiendo contribuir al desarrollo regional. Es necesario seguir adelante con los esfuerzos en esta materia, en parte implementados por IPSE y otros actores.
8) Se deben desarrollar y mejorar las políticas para la conservación de la calidad ambiental, sustentadas en el impulso de la investigación y el desarrollo.
9) Considerando la importancia que tiene este sector y la inercia que tendrá conforme se implementen nuevas soluciones, se debe pensar en seguir fortaleciendo la modernización institucional del sector gas, que garantice el buen gobierno, el desarrollo eficiente y eficaz de las iniciativas con miras a habilitar el crecimiento y el desarrollo económico que de allí se desprende.
10) Las estrategias deben tener el enfoque prioritario de acceso universal, involucrando conceptos de modernidad, eficiencia, innovación, confiabilidad y bajo costo para contribuir a la reducción de la pobreza.

En buena hora esta discusión se ha hecho más visible gracias al foro "Seguridad Energética para Colombia", realizado el viernes 29 de mayo de 2020, y que contó con el liderazgo del senador Agudelo y el apoyo del presidente del Senado, Lidio García Turbay, y del CAEL, el Centro de Investigaciones y Altos Estudios Legislativos. Este centro, valga decirlo, por

[10] En el 2019, el Gobierno nacional tuvo un particular éxito con una subasta que se llevó a cabo y fue todo un éxito, pues con la asignación se llegó a 2250 megavatios en renovables, casi 10 % del total de la capacidad del sistema. Siete empresas tendrán la tarea de llevar a cabo los proyectos. https://www.dinero.com/pais/articulo/cuales-fueron-los-resultados-de-la-subasta-de-energia-renovable-en-colombia/278329

creación, debe ser una unidad técnico-académica, neutra y apartidista. Este es justamente el papel que está cumpliendo en estos foros.

Es de destacar también el papel del secretario del Senado, Gregorio Eljach, que lidera el CAEL. Cabe anotar que, con los tres foros, Seguridad Energética, Seguridad Farmacéutica y Seguridad Alimentaria, se hace un esfuerzo desde el Congreso de la República para generar nuevos espacios de deliberación en Colombia. Espacios como estos son cada vez más necesarios y relevantes para la deliberación pública.

Referencias bibliográficas

- Acolgen (2020). https://www.acolgen.org.co/#:~:text=La%20matriz%20de%20generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica,son%20plantas%20de%20fuentes%20renovables. Obtenido de https://www.acolgen.org.co/#:~:text=La%20matriz%20de%20generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica,son%20plantas%20de%20fuentes%20renovables.

- Banco Mundial (2014). Toward a sustainable energy future for all: Directions for the World Bank Group's energy sector.

- BID (2017). Energy Markets in Latin America: Emerging disruption and the next frontier.

- BID (22 de enero de 2020). Consultoría en apoyo a la misión de transformación energética en los temas de abastecimiento, comercialización, transporte, almacenamiento, regasificación, demanda, aspectos institucionales y regulación de gas natural.

- BID (26 de marzo de 2020). La matriz energética de Colombia se renueva. Obtenido de "Energía para el futuro": https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/

- CAF (agosto de 2013). Challenges and opportunities for Latin America's sistainable energy development.

- Ecopetrol (10 de abril de 2019). Perspectivas de la exploración y producción de gas natural.

- IEA (mayo de 2020). International Energy Agency. Obtenido de !Balance energético 2019": https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-2019

- *La República* (julio16 de 2019). Diario La República. Obtenido de https://www.larepublica.co/especiales/desarrollo-energetico-del-cesar/colombia-podria-tener-hasta-70-anos-de-reservas-de-gas-felipe-bayon-2885263

- Minenergía (20 de diciembre de 2019). Boletín informativo. Obtenido de "Producción de gas ha aumentado cerca de un 10% en lo corrido del año": https://www.minenergia.gov.co/en/web/10180/1332;jsessionid=MaTqXUhX+Jve+LCP298i+hTA.portal2?idNoticia=24161659

- Minenergía (9 de enero de 2020). Colombia avanza en la transformación energética: en 2050, la energía eléctrica y el gas natural superarían la demanda de combustibles líquidos. Obtenido de https://www.minenergia.gov.co/en/web/10180/1332?idNoticia=24165937

- Minenergía (2020). Reservas y perspectiva del petróleo.

- Minenergías (2019). Gas combustible en Colombia: retos y oportunidades.

- PTC (14 de mayo de 2020). Parque Térmico Colombia. Obtenido de "El gas natural licuado (GNL) es un insumo fundamental para el sector eléctrico y la confiabilidad del servicio para todos los colombianos".

- UPME (2015). Plan Energético Nacional Colombia: ideario energético 2050. Bogotá.

- UPME (2017). Balance del gas natural. Documento de trabajo - Subdirección de hidrocarburos.

El papel de la energía eléctrica en la seguridad energética para Colombia

Isaac Dyner Rezonzew

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería y doctor en Ciencias de la Decisión de la Universidad de Londres (LBS). Tiene estudios de maestría en Estadística e Investigación Operacional y de pregrado en Matemáticas.

Ha sido profesor de la Universidad Nacional de Colombia en las áreas de investigación operacional, dinámica de sistemas, estrategia, regulación y energía.

Fue director del Centro de Estudios Interdisciplinarios Básicos y Aplicados en Complejidad (CEIBA) y de los Institutos de Energía y de Ciencias de la Decisión de la Universidad Nacional de Colombia, cuyos grupos han sido acreditados por Colciencias en la máxima categoría. Fue además director del programa de posgrados en Sistemas y del programa de Matemáticas, además de haber ejercido como encargado de las vicerrectorías de Investigación y de Recursos de esa misma universidad.

Su principal interés en cuanto a la investigación ha estado enfocado en la política y la regulación energética, mercados de energía, estrategia corporativa, política hacia reducción de emisiones, planificación por escenarios, modelamiento, simulación y papel de la energía en el desarrollo.

Cuenta con más de 175 publicaciones entre memorias de conferencias internacionales, libros y revistas arbitradas, tales como Journal of the Operational Research Society, System Dynamics Review y Energy Policy, entre otras, en las que ha presentado sus apreciaciones sobre energía e investigación operacional.

En lo referente a seguridad energética, quiero centrarme en seguridad eléctrica, porque nos estamos encaminando hacia un mundo mucho más complejo de la electrificación de la sociedad, la economía, la digitalización y la energización en todo lo concerniente a la vida ciudadana, al transporte y su electrificación, por lo que tendremos una matriz mucho más importante en electricidad, y hay pocas dudas de que no sea de esa manera.

Ahora bien, es importante lo que algunos han comentado, pero no han notado que en medio de esta pandemia muchos de los países tuvieron precios negativos no solamente del petróleo, sino también de electricidad. En Inglaterra, hace unas semanas los consumidores del sector residencial recibieron electricidad y se les pagó para que la recibieran; eso no pasó en Colombia.

En Colombia tenemos precios altísimos de electricidad. Aunque no estamos al borde de un apagón, sí hay escasez de electricidad. Para el Gobierno, un recurso muy importante es el de las energías renovables, pues a pesar de que a veces hay escasez de lluvias, hay abundancia de sol y de viento, por lo que la complementariedad entre las energías eólica y solar con la hidroenergía es perfecta en este país. En eso, Colombia tiene una ventaja muy especial, que debe aprovechar para tener abundancia de energía y poco riesgo de desabastecimiento comparado con cualquier otra solución eléctrica.

En este sentido, lo que se necesita es continuar y terminar la reglamentación de la 1715, que nos ha tomado seis años en reglamentar en su parte final, que se refiere a la participación de la demanda.

Necesitamos una participación de la demanda mucho más activa. Se espera que para 2025, bajo lo ya contratado, vamos a tener alrededor de seis o siete gigavatios de renovables. Si hay participación de la demanda, y los techos solares de muchas comunidades estén funcionando, podremos tener posiblemente otros gigavatios, lo cual quiere decir que Colombia será 100 % renovable en muchos momentos del año. Sin duda, esto se debe tener presente; esta es la solución energéticamente más viable y más barata.

Por otra parte, escuché con sorpresa a alguien que mostraba valores altísimos como consecuencia de la penetración de recursos renovables, pero eso no coincide con nuestras investigaciones, ni con la experiencia mundial. En esta emergencia, en el mundo ha funcionado la entidad renovable bastante bien y los precios han sido los más bajos registrados en muchas partes, teniendo incluso valores negativos. Quiero insistir entonces que la mejor solución, la solución óptima desde el punto de vista de país, es introducir los renovables que se requieran en los próximos diez a quince años; esa es la solución a corto plazo.

De acuerdo con lo planteado por muchos colegas y amigos, el instituto que está proponiendo el senador Iván, y que acompañaremos, debe ser incluyente y participativo, y debe contar con la ayuda de todos los sectores y todos los grupos de investigación que hay en Colombia, en abundancia y calidad.

Senador, muchísimas gracias. Lo felicito por esta iniciativa, por haber traído gente tan importante que ayude a pensar cómo seguir con la seguridad energética para el país y cómo crear no solo este instituto, sino centros y grupos de investigación en este campo.

Los objetivos de la política de seguridad energética para Colombia

Tomás González Estrada

Economista de la Universidad de los Andes, tiene un Ph. D. en Economía de la Universidad de Londres. Fue consejero económico y subdirector de Planeación Nacional. También ha trabajado con BP Colombia, y ha sido profesor de "Economía, petróleo y desarrollo" en la Universidad de los Andes. Fue designado viceministro de Minas y Energía, viceministro de Energía e Hidrocarburos y ministro de Minas durante el gobierno Santos.

Quiero concentrarme en enviar tres mensajes muy puntuales sobre las preguntas que me han hecho y que motivan este foro que se ha convocado hoy. Pero antes debo aclarar que, si bien tenemos una coyuntura muy difícil producto de la actual pandemia, con una caída importante en la planta de energía y una dificultad fiscal muy grande en la medida en que se está requiriendo una atención especial en salud de parte del Gobierno, esto no puede llevarnos a olvidar el tema de la seguridad energética, que es principalmente de largo plazo.

La coyuntura que hoy tenemos va a ser distinta en unos años, pero los retos energéticos de largo plazo no van a cambiar, y van a estar ahí después de que pase esta coyuntura. En este orden de ideas, mi primer mensaje tiene que ver con la seguridad energética: ¿cómo enfocar el tema de seguridad energética?, ¿qué es lo que debemos tener en cuenta?

Tradicionalmente, la seguridad energética se ha concentrado en definir el abastecimiento, es decir, hay seguridad energética en la medida que tengamos abastecimiento de energía, que siempre que uno prenda la hornilla de gas haya gas, que siempre que uno encienda el horno industrial haya el gas para alimentarlo, etc. Sin embargo, este es solo uno de los aspectos importantes que debe tener el sistema energético. Debemos entender también que hay unos objetivos de protección ambiental, unos objetivos de generación de recursos, unos objetivos de acceso a quienes no cuentan con energía y unos objetivos asociados con los precios y la competitividad de los energéticos. Esto es importante porque, si uno se enfoca únicamente en el abastecimiento energético, como seguridad en el suministro, no entiende la seguridad energética como seguridad de suministro; es decir, puede tener políticas de abastecimiento que desatiendan lo ambiental y se olviden de la competitividad si esas políticas llevan a restricciones que suban mucho los precios.

Uno podría dedicarse simplemente a atender la demanda existente y olvidarse, como nos lo recordó el director del IPCE, que hay cerca de 500.000 familias que hoy no tienen acceso a la energía. Uno podría prohibir la utilización de recursos energéticos que son altamente generadores de impuestos y regalías, pero entonces habría que pensar en cinco criterios, que citaré luego, a la hora de hacer un plan en función de la seguridad energética. Por eso, invito a la audiencia a concentrarnos en algo que está muy fuertemente subrayado en la Misión de Sabios, que es el tema de sostenibilidad, más que de seguridad energética; deberíamos concentrarnos en sostenibilidad porque esta involucra dichos criterios.

¿Cuál es el problema que tenemos cuando miramos entonces si nos enfocamos en sostenibilidad con estos cinco criterios?

Mirando el largo plazo, el problema es que en un largo plazo hay conflictos. Puede haber tensiones, por ejemplo, en la medida en que se privilegie uno de los temas y se afecten los otros. En este sentido, quiero presentarles un ejercicio de modelamiento del sistema energético, en el que se modelaron la parte económica y las partes de ingeniería más técnicas del sistema energético de largo plazo. Tal modelamiento se hizo con la colaboración de unos colegas ingenieros mecánicos y electricistas.

Este ejercicio permite ilustrar la importancia de utilizar modelos para ver qué debe enfatizarse hacia adelante. Arriba, a la izquierda, ustedes ven un escenario en el que estamos suponiendo que Colombia cumple sus metas, que están en el Acuerdo de París. Aquí están las emisiones de toneladas de CO_2 equivalentes, que son consistentes con los compromisos que ya están en dicho Acuerdo. Entonces, si uno supone que la economía en 2050 debe llegar con estas emisiones, la pregunta que se tiene que hacer es: ¿esto qué implica? Y lo que inmediatamente se ve en las otras gráficas es que tiene consecuencias interesantes.

Si bien estamos privilegiando aquí las emisiones en lo ambiental, esto nos supondría una enorme expansión del sistema eléctrico, y ustedes pueden ver que la capacidad de generación que tenemos hoy, por debajo de veinte gigavatios, llegaría casi a cien, es decir, habría que quintuplicar la capacidad de generación de energía, sobre todo la capacidad de generación con fuentes hídricas y con renovables no convencionales.

Por supuesto, esto implica la planeación de una enorme cantidad de proyectos en todo el país, pero no significa que esos proyectos vayan a tener las tensiones propias que hay en el desarrollo de proyectos en municipios con las comunidades locales vecinas, zonas a las que hay que anticiparse y tener en cuenta. Dicho en otros términos, esto implicaría también que la industria del transporte se tiene que electrificar y que se deban hacer grandes inversiones para poder asumir esa generación eléctrica y que la economía pueda electrificarse para no tener el nivel de emisiones que habría si no se cumplen los acuerdos que están pactados.

Estos escenarios simulados nos muestran que los precios del gas, de la electricidad y de la gasolina podrían crecer enormemente. Los niveles que tienen hoy podrían reflejar el precio futuro de la energía en más del doble, y los del gas natural y la gasolina por encima de un 50 % más. Lo anterior hace necesario que nos preparemos para tener mayores niveles de subsidios a los servicios públicos y pensar cómo debe ser la política de fijación de los precios de la gasolina y el diésel para poder aguantar la carga de los precios más altos de estos recursos. Asimismo, se tendría que pensar en cuáles serían las conversiones asociadas a esos usos para que sea posible mantener el acceso con los mayores precios futuros, e igualmente se tendría que analizar lo que podría pasar con el recaudo tributario.

Doctor Forero: quiero terminar con un mensaje importante, referido al tema de asignación de recursos resultante del estudio de la Misión de Sabios. Si tenemos una agenda de investigación basada en las prioridades, debemos asegurar que podamos tener investigación de largo plazo, no solo agendas de corto plazo de un año. Debemos asegurar que la asignación de recursos se base en las necesidades de las entidades existentes, como la UPME en el caso del sector eléctrico, MinCiencia y las universidades públicas.

Con esto, doctor Forero, termino mi intervención. Quiero agradecerle nuevamente esta iniciativa, que es tremendamente relevante para la necesidad de Colombia. Los invito a que siempre tengamos los modelos como herramienta para asignar recursos, para definir medidas y para entender mejor lo que se nos viene en el largo plazo.

La competitividad del sector energético colombiano

Natalia Gutiérrez Jaramillo

Presidente ejecutiva de la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (Acolgen) desde diciembre de 2019. Es administradora de empresas de la Universidad Eafit, con especialización en Finanzas y Evaluación de Proyectos.

Durante más de diez años se desempeñó como CFO de una empresa petrolera. Además, fue viceministra de Minas, viceministra del Interior, presidenta de la Agencia Nacional de Minería (ANM) y consultora externa del Banco Interamericano de Desarrollo.

Quiero empezar con decirles que creo que tenemos buenas noticias. Aquí todos estamos hablando del balance del sector energético colombiano, y debo decir que es supremamente importante resaltar que este es un campo en el que Colombia está muy bien posicionada. Su sector energético es fuerte y competitivo y, a diferencia de lo que piensan muchas personas en otros espacios, es un sector en el que va muy adelante y lleva la delantera de América Latina.

Hagamos un balance para entender en qué estamos y cuáles son los retos. Hoy salió una noticia: "Colombia subió nueve puestos en el Índice de Transición Energética". En el Foro Económico Mundial, lo anterior es muy importante, pero ¿en qué se traduce esto? Ese hecho se refiere a dos asuntos fundamentalmente, y es que el acceso a la energía en Colombia es eficiente y que el funcionamiento del sistema actual no solo es eficiente, sino que, además, es sólido. Y, por otro lado, se refiere a que tiene una regulación avanzada, moderna, lo cual significa que hay compromiso político y compromiso de las entidades políticas para que el sector colombiano energético haga una transición importante al tema de reducción de emisiones y de diversificación de la matriz energética.

Quiero arrancar diciendo que llevamos veintisiete años sin apagones. Podría citar unos ejemplos de otros países vecinos, como Argentina, Venezuela y Costa Rica, cuya situación nos muestra que nuestro sistema energético, aunado a todas las oportunidades que tiene de mejorar, ha permitido que no hayamos tenido ni un solo minuto sin energía en los últimos 27 años. Es muy importante recalcar este asunto, y decir, además, que somos la sexta matriz de generación más renovable del mundo. Quiero recordarles también que el sector hídrico es renovable, y que la apuesta a los renovables y a los renovables no convencionales incluye a este sector, que en nuestro país tiene un potencial enorme.

No obstante, no debemos olvidar que tenemos unas condiciones climatológicas inestables que nos ponen en situaciones apretadas cuando nos afectan fenómenos como el del Niño. Pero, paradógicamente, lo que a veces se ve como una situación difícil, nos permite valernos de una de las matrices más renovables y más limpias, que es el recurso agua. El reto es salirles al paso a estas coyunturas climáticas, que cada vez se acentúan más y cada vez se vuelven menos predecibles, porque, si miramos el panorama actual, nos damos cuenta de que la mayor generación del país se da gracias a la energía hidroeléctrica, luego a energía térmica, algo de autogeneración y cogeneración, y un porcentaje muy pequeño de eólica y solar.

En el Gobierno nacional se ha hecho algo que es fantástico, lo cual también debe reconocérsele al Gobierno anterior. Ambos se pusieron en la tarea de diversificar el sector, y la apuesta para 2023 es tener una matriz con energías renovables no convencionales mucho más participativas en la balanza económica. Para 2023, creo que vamos a tener aproximadamente entre un 12 % y un 15 % de renovables no convencionales, lo cual representa casi 16.000 megas instalados de energías renovables, que representan uno de los sectores eléctricos con mayor integración de renovables a nivel mundial. Estoy contándoles esto para decirles que Colombia está posicionada en un muy buen lugar como resultado de unas apuestas de largo aliento, y que estamos en plan de mejorar mucho más.

En relación con cuánto le ha aportado este sector económicamente a Colombia, a la fecha podemos hablar de 39 billones de pesos, invertidos en todo tipo de generación, de los cuales el 70 % está en proyectos de las compañías que representan a Colgen. Esto se suma a que para los próximos años tenemos presupuestados 8 billones de pesos adicionales, que corresponden a toda la expansión del sistema para el 2023 y que serán fundamentales para la reactivación económica del país después de la coyuntura que estamos viviendo. Este ha

sido de los sectores que no se han detenido, y a pesar de todas las dificultades seguimos operando para que Colombia no se apague ni un solo minuto.

En relación con los aportes en el tema de transferencias, quiero que se les quede en la mente que nosotros somos los primeros interesados en que los proyectos tengan viabilidad a largo plazo, pero que alrededor de los proyectos de generación haya inversión social y crecimiento económico; en este aspecto, creo que las empresas de generación han sido de las más comprometidas. Adicionalmente, a la fecha se han aportado más de 5,4 billones de pesos por conceptos de transferencias a los municipios y a las corporaciones autónomas, que son vitales para cuidar el medio ambiente en los lugares donde se desarrollan todos estos proyectos.

Colombia está haciendo bastantes esfuerzos y esto hay que reconocérselo al actual Gobierno, que se ha puesto como una de las metas primordiales dar la mayor cobertura a todo el país. Hay todavía muchas familias a las que todavía no les llega el servicio de energía, pero Colombia, en el Índice de Cobertura Eléctrica, está en el top 10 de los países más adelantados en este tema, pues tiene un 98 % de cobertura, y en la agenda gubernamental se tiene como objetivo llegar al 100 %.

También es supremamente importante decir que nuestra competitividad no solo está reflejada en el tema de confiabilidad, sino que también somos competitivos a nivel ambiental. Como les dije, tenemos uno de los menores factores de emisiones en comparación con otros países. En la figura que les muestro pueden ver el factor de emisiones de los países de la Unión Europea, de América y de los países en la OECD, además del promedio mundial y el de Colombia. El correspondiente a nuestro país debería llenarnos de orgullo, porque esto es el resultado de una apuesta que se hizo hace muchísimos años y que estamos viendo hoy.

La competitividad, por otra parte, también entra en este escenario. Por ello, es importante hablar del tema de precios y decir que nuestro país, como pueden ver en la figura, es de los más competitivos en este aspecto, comparado con todos los países en los que se ha hecho este tipo de estudios.

¿Cuáles son entonces los tres retos que tiene el sector eléctrico en este momento? Cómo lo han dicho varios participantes, uno es la electrificación de la economía. Tenemos que lograr que todos los sistemas más masivos que hoy utilizan combustibles fósiles puedan pasar a un esquema de electrificación de la economía, y que tengamos un esquema de mercado mucho más fortalecido, más moderno, en el que todos los que participan en esta cadena puedan entrar y salir de manera flexible. Otro reto es la modernización del mercado, y para ello se necesita que la propia demanda pueda ser un partícipe activo, es decir, que podamos tener mercados intradiarios. El tercer reto es que debemos tratar de que haya más opciones de negociación de energía y que los recursos variables, como el solar y el eólico, puedan entrar y puedan ser flexibles en su participación y en sus ofertas. En definitiva, lo que tenemos aquí es materia prima muy buena y un balance muy bueno para poder seguir construyendo mejores soluciones.

Planificación de un portafolio balanceado de recursos para alcanzar la resiliencia energética en Colombia

Juan Benavides Estévez-Bretón

Doctorado en Economía de Minerales de The Pennsylvania State University, con especialización en Matemáticas Avanzadas de la Universidad Nacional de Colombia, especialización en Administración de Sistemas Eléctricos de la Universidad de los Andes y pregrado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes.

Es investigador asociado a Fedesarrollo, asesor estratégico en IE and International Gas Supply Corporation, profesor e investigador de la Universidad de los Andes, especialista sénior del Banco Interamericano de Desarrollo y experto y arquitecto de diseño de soluciones en infraestructura, energía, ciudades, política pública, organización industrial, contratos, estrategia y transformación de negocios y matemática financiera.

Voy a resumir brevemente lo que acordó el foro de energía de la Misión de Sabios, precedido de una breve reflexión sobre lo que está pasando actualmente con el coronavirus, que puede ser de interés para todos.

Estamos en presencia de algo que se llama incertidumbre radical. No es posible, con los modelos actualmente existentes, ni con la forma como se están desenvolviendo las crisis económicas y de salud pública, predecir lo que va a pasar. No obstante, la política pública debe dedicarse a la energía y, en cualquier otro tema, a dos asuntos: aumentar la resiliencia y desarrollar antifragilidad.

La resiliencia es la capacidad de sobrevivir a perturbaciones graves e inesperadas, y esto es lo que se requiere en servicios públicos de primera necesidad, como electricidad, telecomunicaciones y salud. En otros términos, se refiere a la antifragilidad, o sea a la capacidad de beneficiarse de perturbaciones graves e inesperadas, como pueden hacerlo las plataformas digitales en este momento.

Según lo anterior, ¿cómo vemos la economía? La vemos como un sistema con dos modalidades de comportamiento: unos períodos relativamente largos, de diez a quince años, sin crisis, que se interrumpen de manera infrecuente por eventos catastróficos que reducen o pueden aumentar el consumo de la riqueza de manera abrupta, y también como un fenómeno denominado regresión a la cola de la distribución, cuyos impactos tienen una gestión de probabilidad, en la cual dichos impactos, de gran tamaño y muy lesivos, son de probabilidad significativa; esto es muy diferente a las perturbaciones en pequeña escala que siempre observamos en los tiempos normales.

En este orden de ideas, ¿qué creemos que se debe hacer en economía y en los sectores a "corto plazo"? Primero, en un corto plazo se debe aumentar la resiliencia transversal de la sociedad en cuatro aspectos: en la "conectividad inteligente y en la digitalización profunda de las pymes", que son las que más han sido afectadas y además tienden a generar una gran cantidad de empleo; por otra parte, en una "logística urbana de bienes intermedios", en una "digitalización de la salud" y en un "método de proximidad biosegura", porque no es factible que vivamos a dos metros toda la vida.

Por otro lado, a "largo plazo" se debe crear resiliencia y antifragilidad más estructural, que consiste en ciudades inteligentes, con un mayor uso de recursos energéticos descentralizados, economía circular, mecanismos colaborativos para solucionar mediante el ingenio todos los problemas sociales y económicos y migrar a algo que se llama en inglés XAAS como servicio, que significa que "cualquier cosa se puede volver un servicio si se une la mercadería por plataformas de producto", lo cual también significa hibridación de negocios (por ejemplo, muchos restaurantes tienen muchos espacios que ya no van a ser usados el 100 % tiempo, ni en su capacidad, y que requieren, como muchos negocios, usos diferentes para los que fueron diseñados). Esta es una visión rápida de que se debe buscar en resiliencia y antifragilidad.

Ahora bien, entrando rápidamente a los asuntos del foco de energía, vemos que hay una transición energética importante que se desenvuelve en las siguientes características: el cambio climático, el avance tecnológico de las fuentes renovables, la irrupción de modelos de negocios muy innovadores normalmente basados en datos y la convergencia entre la descentralización, la digitalización y la electrificación de procesos.

Hay avances en sectores energéticos que permiten monetizar los residuos de biomasa. El sector de gas se requiere para darle confiabilidad a la producción durante eventos en los que todavía tenemos dependencia de los recursos variables, y el hidrógeno, a mediano

plazo, podrá proveer energía densa y limpia de alto impacto, tanto en la seguridad del suministro como en la limpieza de la reducción energética.

El objetivo no es por sí mismo reducir el consumo de energía. La gráfica siguiente, en la que se incluyen muchos países, muestra que, si uno mira el consumo de energía *per capita* y el índice de desarrollo humano, se da cuenta de que en la medida que haya un mayor consumo de energía hay una correlación positiva con dicho índice. Colombia, por ejemplo, tiene un consumo de 39 gigajoules por individuo al año, lo cual lo hace un país bastante flojo en ese sentido y entonces queda terreno por recorrer.

Por lo anterior, creemos que debe implementarse una política energética que planifique de manera integrada para llegar a un portafolio balanceado de recursos. Se debe hacer una regulación experimental que facilite la entrada de nuevos negocios y eliminar las barreras a nuevas tecnologías y modelos de negocio. Creo que esto se debe hacer simultáneamente con la adopción de tecnologías de punta y el desarrollo de tecnologías en las cuales Colombia tenga ventajas comparativas y competitivas por desarrollar.

En este tema encontramos dos nichos muy concretos, que se pueden ver fácilmente en la gráfica: instrumentación y control de paneles orgánicos para América tropical y biorrefinerías de portadores energéticos (en tono verde), y dos fortalezas por desarrollar, que son las capacidades avanzadas de simulación en procesos imbricados y una solución para ciudades inteligentes en transporte y eficiencia.

Finalmente, debo decirles que hemos puesto esto en un lienzo o *canvas*, en el que tenemos una propuesta de valor y una relación con los distribuidores para crear un centro de energía. Vemos que, seguramente como lo buscan muchos de ustedes, es indispensable dar una visión de largo plazo a asuntos que estén en la intersección entre el desarrollo con aplicaciones en mediano plazo y la fundamentación básica, pues creo que esto es una oportunidad muy importante que debemos llevar a cabo. Cuando hay crisis de este estilo, lo último en lo cual se debe recortar el dinero es en investigación, porque esta es lo que va a conferir resiliencia y antifragilidad.

La matriz energética colombiana y su relación entre energías renovables y no renovables

Alejandro Castañeda

Economista de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá), con maestría en Economía de la misma universidad y maestría en Ingeniería Financiera de la Universidad de Michigan (MI-US).

Cuenta con más de diecisiete años de experiencia en los sectores de energía, oil & gas y minería. Ha ocupado diferentes posiciones en el sector público en el Departamento Nacional de Planeación (DNP), donde fue director adjunto de Minas y Energía. Desde su posición se ha enfocado en la consolidación del sector de generación colombiano, teniendo una participación en la toma de decisiones políticas y regulatorias. Actualmente es director ejecutivo de la Asociación Nacional de Empresas Generadoras (ANDEG).

La Asociación Nacional de Empresas Generadoras reúne tres empresas que generan energía eléctrica. Esto representa un 23 % del total de la capacidad instalada y cerca de un 45 % del total de la energía firme que requiere el país. Son empresas de generación de energía con fuente térmica, que se encargan de dar la confiabilidad y el respaldo al sistema eléctrico colombiano.

Muchas de esas empresas inician un camino de diversificación hacia fuentes no convencionales de energía renovable, lo cual obviamente las va a hacer mucho más resilientes y las ayudará a aportar en esta transformación energética, en la cual el Gobierno ha venido avanzando.

Hay momentos en los cuales no se cuenta con los recursos intermitentes, como el viento, como lo fue hace poco California, que tuvo noventa días sin poder generar y noventa días sin viento en 2018. Esto muestra que va a haber mucha necesidad de explorar nuevas tecnologías en el campo de la energía, sobre todo porque las ciudades seguirán creciendo, y un ejemplo de ello es que dentro de los próximos diez años posiblemente habrá cuatro nuevas ciudades de más de diez millones de habitantes en África. En este sentido, se piensa que la energía nuclear tal vez se vuelva un elemento fundamental en todo sistema de descarbonización. Esta es una energía compleja, pero es la más amigable hoy en día desde el punto de vista ambiental. Sin embargo, hay una discusión muy grande a nivel mundial con relación a lo anterior, pues cada una de las tecnologías y fuentes tiene sus ventajas y desventajas, es decir, no existe una posición mágica única para alcanzar los objetivos de descarbonización, suficiencia de cobertura y confiabilidad. En vista de esto, lo que queremos resaltar es que cada país tiene que tener en cuenta los recursos de que dispone y la manera más adecuada de hacer un mejor uso de ellos.

En ese orden de ideas, podemos preguntarnos: ¿cómo es la situación de Colombia desde el punto de vista de emisiones? En 2014, que es el año más reciente en que se tienen datos en este sentido, se evidencia que la agricultura mal empleada y la deforestación son los factores que más contribuyen (57 %) a las emisiones de gases de efecto invernadero. El transporte contribuye con un (30 %), y en menor escala están otras fuentes de generación de energía eléctrica, con un 5,71 %. Pero, puesto que nuestra matriz energética es limpia desde el punto de vista de energía eléctrica, el problema y el enfoque que debemos priorizar es entonces lo que concierne al sector transporte.

Sin duda, las energías renovables van a crecer y van a tener una participación grande dependiendo de la región; sin embargo, también va a haber crecimiento en otras fuentes, como la del carbón, la del gas y otras tecnologías convencionales como la hidroeléctrica.

Deberíamos focalizar los esfuerzos en la discusión de la seguridad energética. Es fundamental movernos a la electrificación del transporte, incluyendo trenes metropolitanos y buses de transporte masivo. Se debe, además, estimular el uso de bicicletas y patinetas eléctricas. Bogotá es una de las ciudades que más lograron avanzar con el compromiso de entrar a una flota importante con buses eléctricos, camino que debe continuarse en otras ciudades.

En los próximos 30 años vamos a necesitar de todas las fuentes de energía posibles. Las renovables van a seguir creciendo hasta un 30 %, pero el *clean call center* comienza a estancarse. El carbón y los fósiles van a seguir participando dentro de la matriz, y ahí Colombia tiene un potencial interesante, pero deberíamos comenzar a mirar cómo se utiliza la tecnología para la captura de dióxido de dióxido, de manera que podamos hacer de esta fuente un uso más amigable ambientalmente.

Aspectos para lograr la seguridad energética en Colombia

Horacio Torres Sánchez

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y magíster en Sistemas de Potencia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Se desempeña como académico en la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica, informática y tecnología.

En nombre de la comunidad académica en general, y la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en particular, debo agradecer al senador Iván Agudelo por su constante liderazgo de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación en Colombia, lo cual se reafirma con la organización de esta audiencia para construir bienes públicos esenciales.

Plantearé dos aspectos que considero claves para garantizar la seguridad energética en Colombia a corto y mediano plazo:

1. Relación empresa-universidad-Estado-sociedad

Se requiere, además del incremento en recursos humanos para investigación, crear una infraestructura adecuada, como un instituto de investigación en energía, capaz de albergar científicos y equipos interdisciplinarios, con físicos, matemáticos, economistas, sociólogos, ingenieros, etc., que permitan desarrollar CT+i. Esta es una idea que hace cerca de dos décadas planteamos con empresas de energía y universidades colombianas hasta sus estatutos fundacionales, pero por diferentes circunstancias no se logró. Esta propuesta es un medio para promover proyectos de investigación aplicada, enfocados a atender necesidades reales productivas y sociales en el sector energético colombiano, que debe traducirse en una política pública sobre CTi energético en Colombia.

Un caso que puede tomarse como referencia son los Institutos Fraunhofer de Alemania, organización cuya misión principal es asegurar que las investigaciones tengan una aplicación práctica, tendiendo puentes entre la universidad y la industria, con sedes dentro de los campus universitarios con claras directrices de relación investigación-academia. Muchos de los científicos de los Institutos Fraunhofer son profesores en universidades alemanas. El 30 % de su presupuesto procede de subvenciones públicas, y el 70 % se genera a través de la investigación con la industria, los ingresos procedentes de patentes y los proyectos de investigación. Esto obliga a los investigadores a llevar a cabo su trabajo con espíritu empresarial. Un buen ejemplo de arranque en Latinoamérica es la fundación Fraunhofer Chile Research, que se estableció para implementar sus propios desarrollos y también conectar los desarrollos de los 72 institutos Fraunhofer en Alemania, para brindar una oferta tecnológica completa y complementaria.

Esta propuesta requiere repensar la universidad colombiana actual, la cual parte de una reforma llevada a cabo en la década de 1960, basada en una organización por facultades y que en Colombia fue implementada y conocida como Reforma Patiño, convirtiéndose en un único modelo de educación superior. Vale la pena pensar en una reestructuración con más de un modelo de educación superior, con universidades basadas en institutos de investigación.

Pero un instituto de investigación en energía requiere fundamentalmente plena autonomía administrativa y de personal con claras reglas de juego sobre su responsabilidad con la academia y la proyección social. Y para llevar a cabo esta idea es fundamental la financiación.

2. Financiación

Una propuesta para reflexionar es que desde el Senado colombiano, y con el apoyo de la academia, se lidere, estudie, presente y apruebe una ley de la República que regule las actuales empresas estatales y privadas de energía, y para las futuras negociaciones de capitalización o privatización de las empresas estatales, la obligación de invertir un porcentaje del presupuesto anual del inversor privado y de la correspondiente entidad pública en proyectos colombianos de desarrollo científico y tecnológico. Como ejemplo, en

Brasil, la Ley 9991 del 24 de julio del 2000 la lideró, presentó y aprobó el Senado brasilero, siendo presidente de la República de Brasil el académico Fernando Henrique Cardoso. Por mi tema de investigación fui testigo directo de los grandes avances y excelentes resultados visibles para el desarrollo brasilero en CTi mediante alianzas efectivas empresas-universidades gracias a esta ley. Paradójicamente, la empresa colombiana de servicios públicos mixta ISA, el mayor transportador internacional de energía eléctrica de Latinoamérica, ha honrado esta ley en Brasil, que busca aplicar anualmente la cantidad de al menos 1 % de sus ingresos operativos netos en investigación y desarrollo del sector eléctrico, excluyendo las empresas que gestionan exclusivamente energía eólica, solar, biomasa, pequeñas centrales eléctricas y cogeneración calificada.

Uno de sus artículos considera que, hasta el 31 de diciembre de 2022, los porcentajes mínimos definidos serán del 0,50 %, tanto para investigación y desarrollo como para programas de eficiencia energética en la oferta y uso final de energía; y a partir del 1 de enero de 2023, para los concesionarios cuya energía vendida sea inferior a 1000 GWh por año, el porcentaje mínimo que se aplicará en los programas de eficiencia energética en el uso final puede incrementarse en un 0,25 %.

Los ingresos de esta ley deben aplicarse en diferentes actividades, como en la financiación de proyectos socioambientales, en eficiencia energética, en proyectos de investigación o en pago de facturas de electricidad de unidades de consumo de organismos estatales y municipales. Según esta ley, el Ministerio de Ciencia y Tecnología brindará apoyo técnico, administrativo y financiero mediante un comité directivo.

Referencias

- Institutos Fraunhofer. En: https://www.fraunhofer.de/en.html

- Lei 9991, de 24 de julho de 2000. En: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm Torres H., "Ciencia, esencial para lograr mayor productividad en Colombia" UN Periódico Digital, marzo 28 de 2019.

- Torres H. "La CTi en la economía naranja". UN Periódico Digital, agosto 27 de 2018.

- Torres H. "Políticas públicas no promueven innovación tecnológica" UN Periódico – N.º 209, Universidad Nacional de Colombia, mayo de 2017.

- Torres H. "Formación para la innovación en Colombia". IV Congreso Internacional de Educación Técnica, Tecnológica y de Ingeniería, Bogotá, 2 y 3 de octubre de 2014.

Energía en Colombia: análisis del panorama energético actual y utópico a 2050

Leonardo Rodríguez Urrego, Ph. D.

Ingeniero de mecatrónica de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá. Magíster en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Politécnica de Valencia - Internacional. Magíster en Automática e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia - Internacional. Doctor en Automática, Robótica e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia - Internacional. Se desempeña como docente de la Universidad EAN. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ciencia, tecnología e innovación, ciudades inteligentes y energías renovables.

Introducción

Hoy en día, las economías monopolistas pierden terreno, y en las grandes ciudades y países del mundo se abren paso las microeconomías de manera vertiginosa. Cada vez más, estas economías tienden a ser participativas, locales y tecnológicas, lo cual fortalece y empodera a las personas y no a las maquinarias o al sistema.

Aunque causen revuelo, protestas y problemas políticos y legislativos, la revolución en todos los campos de la economía a nivel mundial se ha dado gracias a una nueva revolución tecnológica. Así como las economías buscan un arraigo más local y una participación empoderada en las personas, algunos temas del día a día que impactan los bolsillos de los ciudadanos buscan salir del clóset y cambiar las reglas del juego.

Algunos ejemplos muy clásicos se aplican al transporte, a la compra y venta de ropa o todo tipo de accesorios, a la forma de comprar música o de pedir un domicilio y en países desarrollados al consumo de la energía en el hogar y en el trabajo (es más importante saber el consumo de kWh al mes que el de minutos de tu celular).

Todos estos nuevos desarrollos ahondan en lo urbano, buscando que las ciudades migren a una inteligencia social, ambiental y económica. De acuerdo con el informe "La ruta hacia las smart cities", del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la toma de decisiones, la eficiencia de las operaciones, la prestación de los servicios urbanos y su competitividad.

Al mismo tiempo, procuran satisfacer las necesidades de las generaciones actuales y futuras en relación con los aspectos económicos, sociales y medioambientales. Es importante resaltar el trabajo urbano frente a temas como la seguridad energética y las energías limpias y alternativas. La integración de energías alternativas o energías renovables a nivel mundial se ha consolidado en los ámbitos político, industrial y comunitario en los últimos 20 años, teniendo un incremento significativo en cuanto a la oferta de tecnologías de tipo fotovoltaico, eólico, biomasa, geotermia y energía marina. Lo anterior proporciona una contribución del 23,7 % en 2014, de los cuales únicamente el 1,2 % es por acción de energía solar. Ante el presente escenario, es de indicar que la fuente de energía renovable con mayor potencial es la energía solar.

Si se habla de Colombia, se sabe que ha empezado a integrarse activamente en el ámbito de la descarbonización incursionado en una matriz energética renovable, permitiendo comprometerse con la reducción de la dependencia económica de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Igualmente, Colombia está aumentando sus alternativas hacía la eficiencia económica, ecológica y social siguiendo el ejemplo de la implementación de este tipo de tecnologías en países desarrollados.

Panorama colombiano actual

Actualmente, las cosas empiezan a ponerse de otro color gracias a los efectos del cambio climático. Efectos como el del Niño y la Niña ya no son los únicos que afectan el desempeño energético colombiano. Existen otros, como la actual crisis por la pandemia generada por el covid-19, la cual ha cambiado el panorama mundial.

El petróleo ha llegado a valores mínimos históricos y empresas tan importantes como Ecopetrol (Colombia), Petrobras (Brasil) e YPF (Argentina) en Latinoamérica han tenido un desplome del 29 %, 36 % y 45 %, respectivamente. Esto sin enunciar demasiado otras

crisis internacionales graves, como la guerra de precios entre Rusia y Arabia Saudí. Sin embargo, para Colombia y sus generadores de energía eléctrica (mayormente hidroeléctrica), esta pandemia ha sido un respiro debido a las condiciones adversas que se están presentando en los embalses del país y que han llevado a entrar en un posible estado de emergencia a final de año, ya no pandémico sino energético.

Los embalses a nivel nacional deberían estar por esta época en un 51,25 % de capacidad y están en un 33,42 %. Por otro lado, se cumplen cuatro años de la emergencia que tuvo el país por esta misma causa en los embalses, con una infinidad de controversias por los temas de los cargos por confiabilidad que, aunque son competencia de la CREG, tienen fallas evidenciadas que llevan todos estos años y nada que son arregladas; lo más probable es que sea un tema de definiciones como el del significado de "temporada de verano" en Colombia, que lleva desde 1996.

Asimismo, la entrada de la Ley 1715 y las regulaciones nuevas que benefician la participación de las fuentes no convencionales de energía, como la solar y la eólica, han hecho sus estragos, tanto en aspectos sociales como técnicos, como lo que ocurre actualmente en el Parque Eólico de Jepirachi, de EPM, el cual, por no cumplir los requisitos técnicos exigidos por las nuevas regulaciones, debe salir del SIN. Respecto a lo técnico, la falta de claridad con los temas de importaciones, aranceles y reglamentación en los inicios de la Ley hacían demorar las autorizaciones de los proyectos hasta un año, situación que ya fue arreglada al eximir directamente los equipos importados con la DIAN.

Sin embargo, los pequeños privados que quieren autogenerar a partir de energía solar, por ejemplo, todavía sufren hoy en día con la documentación que hay que aportar a los operadores de red, ya sea para proyectos menores o mayores de 100 kW. Hoy, los tiempos de importación e instalación son duplicados en la aceptación por parte del operador de red. Sin contar con las problemáticas causadas por las mediciones en promedios que realizan algunos de los comercializadores y que generan tanto daño al sistema y a los usuarios, la pandemia ha dejado en evidencia esta problemática en mayor medida. Si las empresas generadoras, transportadoras, distribuidoras y comercializadoras no empiezan a ser "eficientes", ¿cómo lo haremos nosotros los usuarios?

Como dicen por ahí, al caído caerle. Tenemos graves problemas con otra de nuestras fuentes primarias, como el gas. Según el Ministerio de Minas y Energía, es muy probable que para 2024 tengamos que importar gas para garantizar el suministro interno, sabiendo que, según predicciones, para 2050 la demanda de esta fuente primaria más la energía eléctrica superará la de los combustibles líquidos. Surgen muchas preguntas debido a estas declaraciones realizadas a principios de 2020, como: ¿solo cuatro años antes no estamos seguros ni de nuestras reservas ni de nuestro recurso?, ¿la tecnología no conoce complementos para el gas natural utilizado en viviendas o industrias?, ¿el hidrógeno es una utopía?, ¿los sistemas de generación distribuida no son un complemento a esta fuente primaria?

Tal vez, muchas más preguntas queden sin responderse, pero los usuarios, que somos los que pagamos por este servicio, seremos los más afectados, seguro. ¿Qué pasará en 30 años, cuando la demanda de energía se incremente en un 60 % aproximadamente para Colombia según las estimaciones de la IEA? Esperemos que sea cierto que para 2022 ya no tengamos 50 MW de potencia instalada en ERNC y tengamos los 2500 MW que prometen las subastas ya realizadas. Se puede seguir hablando acerca de las problemáticas actuales, ya que algunos temas se quedaron en el tintero, como el caso de Hidroituango y las prebendas de los generadores hidráulicos; pero será otra discusión.

Utopía energética colombiana a 2050

Aunque las buenas intenciones actuales de contaminar menos y contener el calentamiento global pasan por sacrificios económicos de la población colombiana, es importante generar una política que lleve al país no solo a adquirir tecnología para la generación renovable, o generar un marco de regulación de políticas para la integración de las mismas, sino en invertir en un tipo de energía no solo limpia, sino asequible, confiable y moderna. Esta política puede centrarse en la política de las 3D enfocada hacia Colombia, una política basada en la descarbonización, la digitalización y la descentralización.

La descarbonización ya inició su camino en Colombia. La entrada de las energías renovables con la Ley 1715 y sus correspondientes regulaciones por parte de la CREG, las subastas de 2019 a cargo de la UPME y los incentivos a estas energías limpias hacen que el mercado ya haya empezado una sacudida; asimismo, las normativas y regulaciones asociadas a la entrada de vehículos eléctricos e híbridos permite a mediano y largo plazo cambiar la matriz de movilidad basada en combustibles líquidos y pasar a una matriz de movilidad sostenible que permitirá acelerar esta descarbonización. Sin embargo, es importante una reinversión en reposición de activos en la cadena de generación, transporte y distribución de la infraestructura eléctrica que permita disminuir las emisiones de CO_2.

Por otro lado, la descentralización surge como una alternativa novedosa, sobre todo en los aspectos referidos a eficiencia energética. La generación distribuida hace partícipe a los usuarios de la cadena de generación y de su propio consumo, permite hacer generación *in situ* haciendo la cadena de generación eficiente en un 98 % (sin pérdidas de la red) (si revisamos el balance energético colombiano de la UPME "BECO" en los modelos analíticos, podemos ver que el 73 % de la demanda pertenece al sistema regulado —hogares, comercios, pequeña industria—, y en el uso en hogares, la estadística dice que el 18 % es energía útil, el 36 % es energía ineficiente y el 46 % son pérdidas por la red y otros). La descentralización también nos ofrece diversificar la matriz y eso nos hace menos vulnerables energéticamente (según el BID y la IEA, los países latinoamericanos con matrices energéticas diversificadas han sufrido menos el impacto energético generado por el covid-19). Por otro lado, la generación distribuida y la diversificación obligará a los comercializadores y operadores de red a ser más eficientes y a buscar nuevas formas y productos para sus clientes (democratización de la energía).

Finalmente, buscar nuevas y mejores alternativas de almacenamiento energético es un factor clave en la descentralización. Tecnologías como el hidrógeno y el reúso de las baterías de los vehículos eléctricos que, según un reciente estudio del MIT publicado en *Applied Energy*, pueden ser usadas hasta por diez años más para ser complemento de energías renovables, sabiendo que estas baterías, a día de hoy y según un estudio de Deloitte, han bajado hasta un 35 % de su precio.

Hablando de digitalización, hablamos de ciencia, hablamos de I+D+i. Hablamos de inversión en tecnologías para eficiencia energética, medidores inteligentes de bajo costo que permitan a las pymes y a las medianas industrias conocer sus indicadores de producción *vs*. consumo energético de manera fácil y en dispositivos móviles, conocer su huella de carbono generada por el consumo energético y su impacto si se hacen autogeneradores y diversificadores de su propia matriz energética.

Tecnología para el control y regulación de las tarifas horarias diferenciales (este es un paso que hemos estado dando desde la regulación de 029 de 2016 de la CREG, pero que debemos fortalecer, motivar y difundir para descongestionar y dar estabilidad a nuestras redes). Esto tiene que venir acompañado por mediciones en tiempo real. Ya no se puede

permitir a los comercializadores que nos cobren a los usuarios basándose en promedios, sino que queremos una facturación neta con base en el consumo (la pandemia lo ha evidenciado aún más); la tecnología está ahí para usarla. Es importante una inversión en tecnología para la sostenibilidad climática basada en datos, que a 2050 nos lleve a tener una energía flexible, a tener sistemas de carga ubicados en puntos estratégicos y no a dedo, a administrar la energía que usamos con sistemas de almacenamiento inteligente en nuestros hogares y fábricas, a utilizar hidrógeno verde para complementar el gas que nos queda y a tener redes de energía flexibles y fiables. Este panorama futuro solo se logra también utilizando la tecnología de la digitalización para generar nuevos modelos de negocio que conviertan a la energía en una criptoenergía y permita abrir el mercado aún más.

Todo esto no podrá pasar de la utopía a la realidad sin hacer inversión en tecnología, ciencia e innovación. La investigación aplicada y el desarrollo de *software* y *hardware* con modelos de utilidad energéticos deben ser los emprendimientos de nuestro futuro para que la energía sea la base del desarrollo de una seguridad energética para nuestra Colombia a 2050.

Referencias

- RO Cortés. "La cuarta revolución industrial, un relato desde el materialismo cultural" (The fourth cultural revolution, a tale through cultural materialism). Vol. 6, n.º 2, pp. 101-111.

- M. Bouskela, M. Casseb, S. Bassi, C. de Luca y M. Facchina. "La ruta hacia las smart cities migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente".

- PNUD. "Objetivos de Desarrollo Sostenible | UNDP". [*online*]. Available: http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html. [Accessed: 17-Jul-2018].

- Departamento Nacional de Planeación, "Consejo Nacional de Política Económica y Social, Conpes".

- J. Manuel Santos Calderón, vicepresidente de la República Germán Vargas Lleras *et al.* "Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Todos por un nuevo país".

- Congreso de Colombia. "Ley n.° 1715 del 13 de mayo de 2014", UPME, n.º mayo, p. 26, 2014.

- Universidad EAN. "Energías renovables para 'dummies'… y para presidenciables" [*online*]. Available: http://blogs.portafolio.co/pensamiento-emprendedor/2018/05/25/energias-renovables-para-presidenciables/. [Accessed: 18-Jul-2018].

- UPME and BID. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. 2015.

- D. Rodríguez-Urrego and L. Rodríguez-Urrego. "Photovoltaic energy in Colombia: current status, inventory, policies and future prospects", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 160-170, sep. 2018.

- F. León-Vargas, M. García-Jaramillo, and E. Krejci, "Pre-feasibility of wind and solar

systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: implication of new incentives included in Law 1715", *Renew. Energy*, Jun. 2018.

- L. Rodríguez-Urrego, J. V. Llanos, D. Rodríguez-Urrego, and A. M. García. "Design, implementation and operation of a solar hybrid system in a remote area in the Colombian Guajira desert", vol. 195, pp. 427-438, 2015.

- S. Morales, C. Álvarez, C. Acevedo, C. Díaz, M. Rodriguez, and L. Pacheco. "An overview of small hydropower plants in Colombia: status, potential, barriers and perspectives", *Renew. Sustain. Energy Rev*., vol. 50, pp. 1650-1657, oct. 2015.

- Banco de Desarrollo para América Latina CAF. "Las 3D de energía: Descarbonización, Digitalización y Descentralización" [*online*]. Available: https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2019/11/las-3-d-de-energia-descarbonizacion-digitalizacion-y-descentralizacion/. [Accessed: 26-May-2020].

- Real Instituto el Cano Royal Institute. "Energía y covid-19 en América Latina: un impacto heterogéneo por sectores y países" [*online*]. Available: http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_es/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/ari55-2020-escribano-energia-covid-19-america-latina-impacto-heterogeneo-sectores-paises [Accessed: 26-May-2020].

Directrices para temas potenciales en el desarrollo de sistemas energéticos eficientes

Nataly Carolina Rosero Navarro

Nataly Carolina Rosero Navarro es colombiana. Obtuvo su grado en Química de la Universidad de Nariño y su grado de doctora en Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Madrid (España) en 2004 y 2011, respectivamente. Fue galardonada con dos prestigiosas posiciones postdoctorales en 2012 (FCT, Portugal) y 2013 (JSPS, Japón) en el Grupo de Materiales para la Conversión y Almacenamiento de Energía de la Universidad de Aveiro y en el Laboratorio de Química de Síntesis Inorgánica de la Universidad de Hokkaido, respectivamente. En 2016 fue nombrada profesora asistente en la Universidad de Hokkaido. Ha participado activamente en diferentes proyectos e iniciativas para el desarrollo de energías sostenibles con más de 60 publicaciones científicas (dos recientes en colaboración con la Universidad de Antioquia).

El desarrollo de sistemas energéticos eficientes requiere de la sinergia entre los sectores académico e industrial. La inversión en proyectos competitivos y que se adecuan a la necesidad del país debe ser liderada por especialistas. La capacitación de las nuevas generaciones es esencial para garantizar la sostenibilidad del desarrollo energético. La búsqueda de temas innovadores puede verse estimulada por la internacionalización o colaboración internacional de los grupos de investigación.

La demanda mundial de energía va en aumento año tras año según los informes presentados por la Agencia Internacional de Energía (IEA) [1]. En 2018/19, aún más del 70 % fue cubierto por petróleo, gas natural y carbón, y las energías renovables representaron casi todo el resto [1].

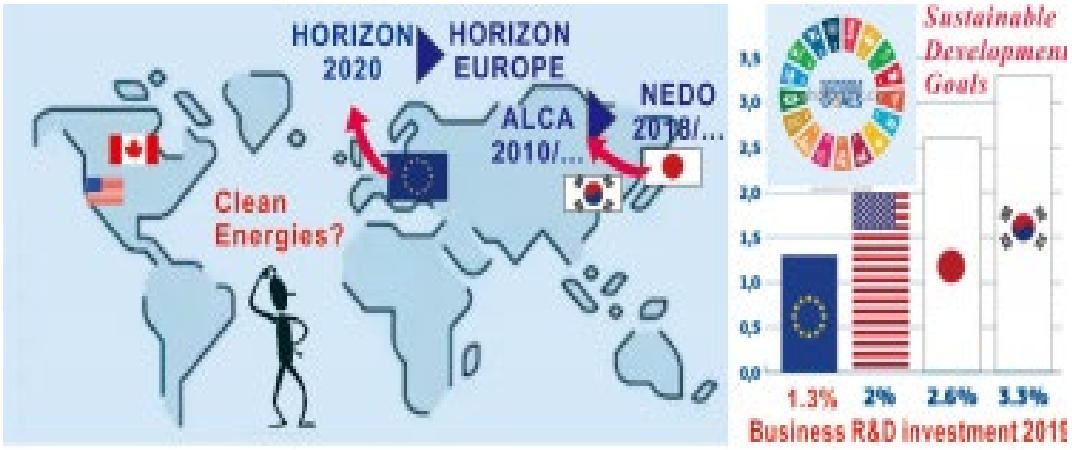


Figura 1. Almacenamiento de energía seguro y eficiente. Adaptado de 2-3.

Las energías renovables son cada vez más competitivas año tras año; sin embargo, el uso de energía generada por ellos sigue siendo ineficaz. Por lo tanto, desarrollar nuevos sistemas de almacenamiento de energía para satisfacer estas crecientes necesidades es imprescindible (estacionarias y no estacionarias). La integración de fuentes de energía renovables y limpias (como la energía eólica y la fotovoltaica) en la red eléctrica y mediante la electrificación del transporte se ha convertido cada vez más en un objetivo social mundial. Este aspecto se ha visto reflejado en la tendencia mundial sobre el interés en incentivar el desarrollo de energías renovables, apoyada desde diferentes estrategias con inversiones de hasta más del 3 % del PIB (figura 1) [2-3].

En países asiáticos, como Japón, las estrategias del Gobierno a través del Ministerio de Educación y el de Económica incluyen iniciativas como los proyectos ALCA (Avance Low Carbon Technology Research) y NEDO (New Energy and Industrial Technology Development), que están en desarrollo desde 2010 y que han impulsado desarrollos tecnológicos punteros a nivel mundial. La Unión Europea, a través de iniciativas como Horizon 2020, el Plan Estratégico de Tecnología Energética (Plan SET) y la Alianza de la Batería (2017), está promoviendo activamente la investigación y las innovaciones relacionadas con este campo desafiante. El Horizonte Europa (2021-2027) también parece mantener estas inversiones.

En Colombia, la energía eléctrica proviene principalmente de su riqueza hídrica, que representa casi el 70 %. Esta alta dependencia de la energía hídrica podría representar un problema de abastecimiento energético, debido a la variación del clima. Así, para garantizar

la seguridad energética en Colombia a corto y mediano plazo, se recomiendan los siguientes aspectos para tener en cuenta:

1) Inversión en investigación y desarrollo
2) Capacitación de las nuevas generaciones con habilidades en este campo
3) Incentivación de colaboraciones estratégicas
4) Captación del interés y explotación industrial

Indudablemente, uno de los primeros aspectos es desarrollar marcos de inversión a la investigación y el desarrollo. Esto involucra la inversión en proyectos competitivos y que se adecuan a la necesidad del país. La adecuación de laboratorios es indispensable para desarrollar una investigación competente y de alto nivel. Asimismo, capacitar las nuevas generaciones de profesionales en estos campos es necesario con la proyección anticipada que garantice sus roles profesionales en la sociedad. En este aspecto, la colaboración estratégica con otros países es fundamental para fomentar la discusión científica y la estimulación para nuevas ideas. Crear una infraestructura para el desarrollo energético va a requerir de estudios fundamentales de tipo científico liderado por profesionales de alta competitividad; sin embargo, la participación de la industria es esencial para orientar y adaptar los avances tecnológicos a las necesidades industriales.

En el marco de los aspectos mencionados previamente, la consolidación de un instituto de energía se considera clave para el desarrollo estratégico de la seguridad energética en Colombia. El ideal para marcar objetivos alcanzables sería el trabajo conjunto entre academia e industria, siendo la prioridad la identificación de temas potenciales en los que la economía del país se vea beneficiada. Esto es, la explotación de los recursos naturales que podrían ser adaptados a las diferentes tecnologías energéticas ya disponibles, pero, más importante, son el estudio y la exploración de nuevos temas.

Referencias

[1] www.iea.org, report on 22 March, (2018) and report on may (2020).

[2] European Union Horizon Europe. The next EU research and innovation investments program (2021-2027). En: http://ec.europa.eu/horizon

[3] He X., Core B. Solid-state and polymer batteries 2019-2029: *Technology, Patents, Forecasts*. 2019, vol. DTechEX. En: https://www.idtechex.com/

QUINTA PARTE

CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES EN INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA SEGURIDAD ENERGÉTICA

Energy security for Colombia

Richard Green

Professor of Sustainable Energy Business at Imperial College Business School, former Chairman of the British Institute of Energy Economics, and have advised the UK Parliament, European Commission and Australian Energy Markets Commission. I have been researching the economics of electricity markets for over thirty years.

Most of my experience relates to Great Britain, which faces different challenges to Colombia. Britain generated 39 % of its electricity from gas during 2019, 20 % from wind and 18 % from nuclear power. 9 % was imported, 6 % from biomass and 4 % from solar power. Very small amounts came from coal and from hydroelectricity, whereas hydro is very important for Colombia. It is very unlikely that Britain would have a shortage of energy (MWh) over a long period, because we have access to many different energy sources. The energy security problem for electricity generation is the risk that power demand (MW) would be higher than the available generation capacity, particularly at a time of low wind and solar output –our highest demands are in winter evenings. A power shortage would normally only last for a few hours–.

In contrast, hydro systems generally have enough power capacity (MW) to be confident of meeting demand at any one time, but may not have enough stored water to meet the demand for energy (MWh) over a longer period. Colombia has used a capacity market to pay to keep back-up thermal generators available for dry years, but I understand that this has had problems with market power and with generators that did not meet their obligations.

The UK introduced a capacity market in 2014 to improve the economics of thermal generators that were facing lower load factors as the proportion of wind generation on our system increased. The auction held in 2014 committed generators to make power stations available over the winter of 2018-19 –it has become known as a "T-4" auction–. Holding the auction four years in advance allows time for a new power station to be built, so that entrants can compete with incumbents and increase the amount of competition in the capacity market. A second auction is held the year before delivery (so in 2017, for the winter of 2018- 19); this is known as the "T-1" auction. Both auctions are for power capacity (MW), since that is what the British system might be short of.

While this two-round auction design was intended to allow the electricity system operator to adjust its estimate of how much capacity was required in response to changes over time, I wonder whether it also has benefits in reducing market power amongst bidders. There are many economic papers showing that if generators sell some of their energy in a contract market before they compete in a spot market, then prices in both markets will be lower than if the generators only used the spot market (Alas and Vila, 1993; Green, 1999; Bushnell *et al.*, 2008).

The economic intuition is that once the generator has sold some of its output for a fixed price in the contract market, the price in the spot market becomes less important to it, as only the output not covered by contracts will receive that price. The generator becomes less willing to sacrifice output in order to raise the price received by a smaller proportion of its output.

In the earlier contract market, the generator nevertheless wants to sell output in advance, partly because this is a hedge against the risk of uncertain output prices, and partly because if it does not sell in this market, it is likely to sacrifice market share to a rival. At the same time, both sellers and buyers in the contract market are aware that if they do not trade in that market, the spot market provides an alternative, and so prices in the contract market are linked to expectations of the price in the spot market (when it happens). This helps to limit the market power in the contract market.

More work, and in particular simulated auctions with live participants (preferably experienced traders) would be needed to see whether this effect would hold in the circumstances of Colombia. If it did, an auction design with a "T-5" auction for, say, 60 %

of the desired capacity and a "T-4" auction for all or most of the rest might be able to reduce market power significantly. A generator might try to withhold capacity from the T-5 auction in order to dominate the T-4 auction, but this would be a transparent attempt to exercise market power and I hope that Colombia might have antimonopoly laws that could be used in such a case.

An energy institute

The second question for the hearing is whether it would be helpful for Colombia to have an Energy Institute. I do not know. The information given to me does not say what questions you want it to answer, or what decisions to make. If you know that, the question is then to decide what kind of body is best-placed to answer those questions, or make those decisions.

The UK does have several independent bodies involved in energy policy.

Advice given within a framework where a law requires the government to set a target on the basis of this advice. The Committee on Climate Change is a group of independent experts supported by a professional staff, whose role under the Climate Change Act 2008 is to advise the government on the UK's carbon emissions. The key questions are how far and how fast emissions should be reduced in future (taking the science of climate change and the possibilities for reducing emissions into account) and how well the UK is doing at present.

The Committee advises the government, but the law which sets the limits (a few years in advance, so that there is time to develop policy) is then decided by parliament. The Committee is accountable to parliament, and members (serving part-time) are appointed in a non-political process. They come from business and universities, and the current chair is a former politician (who shows genuine knowledge and enthusiasm for the committee's role).

Independent decisions on the economic regulation of the gas and electricity sectors. The Gas and Electricity Markets Authority, supported by a professional staff in OfGem (The Office of Gas and Electricity Markets) is responsible for regulating the gas and electricity sectors (except for gas production and transportation to shore). The authority has the full-time leaders of Ofgem and part-time non-executives, independent directors mostly from business and universities.

They are appointed in a non-political process and accountable to parliament. The Utilities Act 2000 sets out the authority's powers to regulate the industry; its duties, and the factors that the authority should take into account, are those given by parliament, but how the authority uses those powers is for its own independent decisions.

Academic research from a consortium of UK universities. The UK Energy Research Centre is a network of researchers from around 10 universities, with a small central staff. The central staff are involved in networking with the wider academic, business and policy communities, through events and regular newsletters. The researchers have a five-year programme (they are now on the fourth of these) which they choose and is approved by the UK's independent research councils. The aim is to produce research looking at the energy system as a whole, including questions on social and political science as well as economic and technical ones. One group produces systematic reviews of the evidence on important policy-related questions: how much will it cost to integrate intermittent wind energy into the power system?

How many of the potential savings from energy efficiency are absorbed by the so-called rebound effects? Part of the research budget in each five-year programme is held back to look at new questions that come up during the period, and bring new researchers into the consortium. It is worth emphasizing that all the UKERC academics are part of much larger universities and departments and spend most of their time in those departments doing other research and teaching. This ensures that they have access to people in their own disciplines working on non-energy questions to keep themselves open to wider viewpoints.

Each of these bodies does a different thing; the question is whether any of those are things that Colombia wants to be done, and if so, which?

References

- Allaz B. and J.-L. Vila (1993). "Cournot competition, forward markets and efficiency". *Journal of Economic Theory*, vol. 53, n.º 1, pp. 1-16.

- Bushnell J., E. Mansur, and C. Saravia (2008). "Vertical arrangements, market structure, and competition: an analysis of restructured US electricity markets". *American Economic Review*, vol. 98, n.º 1, pp. 237-366.

- Green RJ. (1999). "The electricity contract market in England and Wales". *Journal of Industrial Economics*, vol. 47, n.º 1, pp. 107-124.

La visión de la seguridad energética desde la Misión de Sabios

Orlando Ayala Lozano

Egresado del programa de Administración de Sistemas de Información de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, es doctor honoris causa en Administración de Sistemas.

Es vicepresidente mundial de Ventas y Mercadeo de Microsoft y presidente mundial para Mercados Emergentes, cargo desde el cual manejó la agenda de competitividad y de educación del gigante informático. Es director de negocios de NCR Corporation y director de BIOS, programa que busca fortalecer la conectividad y el acceso de los colombianos a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. Ha hecho aportes en la investigación de auditorías energéticas, caracterización de polímeros, diseño de componentes de equipo para procesamiento de polímeros, diseño de productos poliméricos y modelación y simulación de procesos de transformación de polímeros, y ha realizado estudios en procesos de transformación de polímeros, termodinámica y transferencia de calor. Es miembro de la Misión de Sabios.

Me uno al reconocimiento del trabajo que está haciendo el doctor Iván Darío Agudelo, que ha venido articulando una serie de aspectos necesarios para Colombia a corto, mediano y largo plazo con respecto al tema de tecnología. Bajo ninguna circunstancia voy a declararme experto en energía, pero sí quiero hablar desde el punto de vista de la Misión de Sabios. Quiero recordar muy rápidamente que se hizo realmente un esfuerzo al llamado por el Gobierno del presidente Duque.

El 5 diciembre de 2019 se entregaron básicamente las recomendaciones. La idea fue proponer una ruta convergente de construcción colectiva para la transformación del país, que pasa por algo concreto consistente en una gran apuesta en la transformación de la economía, desde una economía extractiva a una que se base en tecnología, en ciencia y en producción de servicios y de conocimiento ojalá exportable. Para ello, partimos esencialmente de la gran potencialidad que tiene Colombia con respecto a sus recursos naturales y humanos.

Esta apuesta pasa por la bioeconomía, la biotecnología, la biociencia y el emprendimiento digital, tres grandes focos interconectados, que no debemos olvidar porque son importantísimos, como la propuesta que la Misión de Sabios construyó con más de 10.000 personas en interacciones en todo el territorio colombiano. Esta no es la propuesta del presidente, sino la propuesta de la sociedad civil para buscar un camino de transformación para Colombia, que le debemos a la siguiente generación.

Son tres focos interconectados: el primero es la Colombia biodiversa, mediante el cual se trata de generar valor agregado a partir de la diversidad, el conocimiento y la innovación basada en la diversidad natural y cultural del país, que la tenemos a borbotones; el segundo es la Colombia productiva y competitiva, que es un crecimiento basado en la ciencia, pero para transformar la estructura productiva hacia la sostenibilidad y la equidad del país; y la tercera es importantísima, y se trata de una Colombia equitativa, pues no resolvemos nada si dejamos que la gente se nos caiga del barco, si no pasamos por el proceso de que los casi 50 millones de colombianos se beneficien de ello.

Hubo ocho foros y ocho grupos de trabajo. No voy a nombrarlos todos, pero uno de ellos fue de energía sostenible (le recomiendo a la audiencia que estudie las recomendaciones del grupo de energía sostenible). Como se mencionó anteriormente, yo fui parte del grupo de tecnologías convergentes e industrias 4.0. La concepción de la Misión, o sea la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que se venía pidiendo en Colombia desde mucho tiempo y que fue empujada muy duro por el senador Agudelo, ya es una realidad.

Pasemos al punto que quería enfatizar hoy, no solamente en Colombia, sino a nivel global. El covid-19 desnudó duramente la realidad de la humanidad, esencialmente con los servicios básicos para el ser humano, que son salud, trabajo, alimentos y viabilidad financiera. Sin duda alguna, una apuesta de conectividad, como lo es el derecho básico de banda ancha, es la base para poder responder a las propuestas de la Misión de Sabios.

Estas plataformas representan ese salto tecnológico, y Colombia tiene que ponerse seria con respecto a esto, porque la banda ancha es igual al crecimiento del país, y su ausencia sencillamente crea un desierto digital. Al respecto, quiero mostrarles brevemente unos datos: Estados Unidos ha hecho un llamado por un plan nacional, debido a que se están quedando atrás de China, porque China ha venido invirtiendo en esto dramáticamente en los últimos años; creo que Colombia necesita algo absolutamente similar.

Está claro que en los lugares donde no hay conectividad, se encuentra el más alto desempleo. Por eso, la conectividad es clave para el desarrollo los territorios. Se sabe que, por cada 1000 suscriptores, se crean 80 nuevos empleos, y se encuentra empleo un 25 % más rápidamente cuando se hace una búsqueda *online*. También se sabe que, por cada cuatro megabits por segundo de banda ancha, el ingreso familiar se incrementa en 2100 dólares. Esto nos dice claramente que tenemos que apostarle a la fibra óptica, pero a una velocidad de ancho de banda que no necesariamente sea el tirar el cable físicamente; sin embargo, esto representa 30.000 dólares de costo por milla, lo cual es inviable para Colombia.

Por fortuna, hay una serie de alternativas que hoy existen y que permiten aprovechar la innovación de este sector, como la tecnología que usa los espacios no regulados y no usados de los espacios blancos de la televisión. En Colombia tenemos un proyecto de esto en relación con el café en el Meta, un sitio muy golpeado al que hemos llevado conectividad de primer nivel a cien familias que viven de este cultivo.

Entendemos que se nos viene la descentralización de las funciones energéticas, el uso de la tecnología de la información y comunicaciones y el internet de las cosas. Pero, como lo dijeron muy claramente el ministro Cárdenas y el doctor Fereidoon Sioshansi, de Menlo Energy Economics, la transición energética, y básicamente la independencia, dependen de la eficiencia con que el consumidor use esta conectividad.

Senador Agudelo, quiero hacerle una propuesta directa y concreta: necesitamos galvanizar el país, pero para ello debe haber un esfuerzo amplio del sector público y el privado, tanto nacional como internacional, para acelerar el plan de banda ancha robusta. Colombia solo tiene 60 % de conectividad, lo cual incluye a las ciudades; imagínense entonces cómo están los territorios menos poblados.

Si se quiere alcanzar la escala necesaria de conectividad, se requiere atraer capital extranjero. Esto es necesario para que en 2025 lleguemos al 90 % de conectividad en todo el país. Es imperativo ponernos un objetivo de ese nivel, pues sin ello no salimos de la actual situación. Si no hay energía, por supuesto que no habrá conectividad, pero si hay energía y no hay conectividad, estamos perdiendo el partido.

Para terminar, quiero decirles que también necesitamos política pública moderna en *agritech*, Este campo ayudaría a acelerar la propuesta de la Misión de Sabios.

Construcción de capacidades I+D+I para consolidar la seguridad energética en Colombia

Omar Fredy Prias Caicedo

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, es especialista en Gerencia de Tecnología de la Escuela de Administración de Negocios (EAN) y magíster en Eficiencia Energética de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Se desempeña como docente de la Universidad Nacional de Colombia. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica, informática y gestión tecnológica.

Introducción

La seguridad energética para Colombia es en un reto y una oportunidad para lograr accesibilidad y asequibilidad energética para impulsar el desarrollo social y productivo del país. En consecuencia, abordar este tema es una oportunidad para construir capacidades en investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) en todos los ámbitos y procesos de la cadena energética, desde la producción hasta el uso final y útil de la energía en un enfoque hacia la eficiencia energética.

La accesibilidad y la asequibilidad energéticas para toda la población, en todos los ámbitos de la dinámica social, son necesarias para el desarrollo industrial, la prestación de servicios y el incremento de la calidad de vida en los hogares, con especial atención a aquellos grupos y comunidades que no gozan de soluciones energéticas sostenibles. Un desarrollo industrial sustentado en las pequeñas y las medianas empresas es poco innovador, y un sector del trasporte intensivo en el consumo de combustibles fósiles y una economía que privilegia la concentración de riqueza en sectores poco intensivos en el consumo de energía y la exportación de productos primarios no genera empleo e innovación.

Se requiere el impulso de la seguridad del suministro y la diversificación de la canasta energética con confiabilidad, calidad del servicio y cubrimiento de la demanda, con acceso y universalización del servicio, con precios de la energía en función de la capacidad de pago de los usuarios finales, con mitigación de impactos ambientales y efectos negativos del cambio climático y con incorporación de energías renovables, que contribuyan a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, los retos de la política energética nacional se deben enfocar hacia la creación de condiciones para impulsar el sector minero-energético como uno de los principales actores para contribuir al crecimiento económico y al desarrollo social del país, e igualmente a promover la eficiencia energética a lo largo de la cadena energética con énfasis en la demanda. Es necesario consolidar una cultura enfocada en el uso sostenible de los recursos naturales, promover sistemas de transporte masivos eficientes y asegurar la expansión de la capacidad de generación e inversión en ciencia y tecnología en el sector energético nacional (UPME & CIDET, 2017).

Uno de los objetivos del Plan Energético Nacional está orientado a la seguridad de suministro energético y a la diversificación de la matriz energética. Allí se plantean, entre otros aspectos, señales adecuadas para la expansión coordinada de las distintas cadenas energéticas, para aumentar no solo el suministro energético sino su disponibilidad, confiabilidad y diversidad. El cumplimiento de este objetivo se materializa en los planes subsectoriales para refinados derivados del petróleo, gas natural, GLP, energía eléctrica y uso racional y eficiente de la energía, y también en la expansión de la cobertura de los servicios públicos domiciliarios de electricidad y gas combustible, los cuales forman parte integral del Plan Energético Nacional (2050).

La Ley 1715 del 2014, "por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional", contribuye en la diversificación de la matriz energética con la integración de fuentes no convencionales de energía, e igualmente a la participación activa de la demanda con la generación distribuida, la autogeneración y la gestión eficiente de la demanda, entre otros aspectos, que contribuyen a la consolidación de la seguridad energética nacional.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que las reservas de gas natural presentan incertidumbre, lo cual afecta principalmente la confiabilidad del suministro en el futuro. Por ello, la UPME (2020) incluye en los planes energéticos de corto y mediano plazo la

implementación de plantas de almacenamiento y regasificación para garantizar la seguridad del abastecimiento y la confiabilidad del servicio de gas natural.

Uno de los grandes desafíos de mayor relevancia para garantizar la seguridad energética en Colombia, que además se constituye en una oportunidad, tiene que ver con la construcción y el fortalecimiento de capacidades en investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) en todos los ámbitos de la energía, desde el desarrollo de la política energética, los mercados y su regulación, hasta la identificación y el aprovechamiento de nuevas fuentes y formas de energía, como también la innovación en nuevos servicios y productos en el ámbito de la transición energética, la trasformación digital y los compromisos con el cambio climático.

Dicho fortalecimiento implica una decidida integración y relacionamiento entre el Estado, la universidad y la empresa y, por supuesto, con la sociedad, mediante la adecuada asignación de recursos para fortalecer la investigación y la creación de centros de innovación, redes de conocimiento, centros de investigación, observatorios de energía e institutos de energía.

A nivel internacional existen centros de investigación e institutos con importante trayectoria y reconocimiento. Algunos de ellos son el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL), el National Energy Technology Laboratory, la Agencia Nacional para la Nueva Tecnología, el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) de España, entre otros.

En Latinoamérica, países como Brasil y México tienen institutos de energía de muy buen nivel y reconocimiento. En México, las instituciones más representativas son el Centro de Energía y Recursos Naturales del Instituto Tecnológico Autónomo de México (CERN - ITAM), el Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). En Brasil está la Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) y el Instituto de Energía e Ambiente-USP, entre otros.

Por otra parte, la Unidad de Planeamiento Energético, UPME, en conjunto con la Universidad Nacional y otras entidades, ha estructurado un Observatorio de Energía para Colombia (OEC) como mecanismo fundamental para el seguimiento de la transición energética, de acuerdo con los lineamientos de la Política de Crecimiento Verde establecidos en el documento Conpes 3934 de julio de 2018. El Observatorio se fundamenta y define estrategias hacia la formulación y el seguimiento de indicadores de desarrollo sostenible para el sector energético, vigilancia tecnología y prospectiva para la formulación de escenarios de transición para Colombia.

Además del Conpes y el Plan Energético Nacional 2050, que plantea idearios para una apuesta de futuro, están el Proure (Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía no Convencionales) y el PGICC (Programa de Gestión Integral de Cambio Climático del sector minero-energético, que responde a la Ley 1753 de 2015), que proporcionan un marco de política, planes y programas que requieren acción y decisión para implementarlos.

En este contexto, la creación y el fortalecimiento de capacidades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para consolidar la seguridad energética en Colombia se constituye en una oportunidad para implementar políticas energéticas, mercados y regulaciones, como también para identificar y aprovechar nuevas fuentes y formas de energía e innovar en nuevos servicios y productos en el ámbito de la transición energética, la trasformación digital y los compromisos del país a nivel mundial con el cambio climático,

mediante el fortalecimiento y la creación de centros de investigación, redes de conocimiento e institutos de energía.

La Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética (RECIEE), conformada por grupos de investigación de 18 universidades y de 4 entidades, contribuye, a partir de la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico, a interrelacionar universidad, empresa y Estado en el campo de la eficiencia energética, los sistemas de gestión de la energía, la promoción y el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

La Universidad Nacional de Colombia, por ejemplo, cuenta con 103 grupos de investigación reconocidos y clasificados con las más altas categorías en el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología en temas energéticos, además de 20 laboratorios, 8 institutos y 3 redes de conocimiento. En los últimos años, esta institución viene impulsando la creación de un centro de excelencia en energía orientado a fortalecer la investigación, el desarrollo tecnológico, la innovación y la transferencia de conocimiento para el desarrollo de soluciones integrales que respondan a los retos del sector energético nacional, al sector productivo y a la sociedad colombiana en general, consolidando así un vínculo colaborativo universidad-empresa-Estado para superar la brecha de la globalización y contribuir en el desarrollo de las políticas energéticas, ambientales y sociales del país.

En este contexto, la actual iniciativa parlamentaria, dirigida a construir e impulsar desde el ámbito legislativo directrices y mecanismos para garantizar la seguridad energética en Colombia, es un acierto y una oportunidad.

Referencias

- Análisis de la seguridad energética en Colombia desde la cadena de suministro del gas natural. Marylone Montoya Torres, Universidad Nacional de Colombia.
- Estudio técnico para el plan de abastecimiento de gas natural, UPME, enero de 2020.
- Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. Juan Roberto Paredes/John J. Ramírez C. 2017.
- Ministerio de Minas y Energía. En: www.minenergia.gov.co
- Observatorio Colombiano de Energía. Aproximaciones a las condiciones para su conformación. Universidad Nacional, UPME, julio de 2018.
- Plan Energético Nacional 2020-2050, UPME.
- (Reciee) Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética. En: www.reciee.com.
- Plan energético nacional de Colombia, UPME, 2015.
- Seguridad energética para Colombia, UPME, CIDET 2017.

El papel de la ciencia, la tecnología y la innovación en la seguridad energética

José Camilo Manzur Jattin

Ingeniero civil con magíster en Economía y especialización en Evaluación Social de Proyectos. Consultor, miembro de juntas directivas y participante en sociedades en temas y empresas relacionadas con el sector minero-energético, regulación y prestación de servicios públicos y gerencia de proyectos. Actualmente es director de Asocodis.

Para el tema de la seguridad energética, la ciencia, la tecnología y la innovación, es fundamental incrementar la cobertura en el país y lograr una universalización total con el fin de mejorar la calidad del servicio, disminuir las pérdidas de energía, lograr la electrificación del transporte, incorporar la generación distribuida en los sistemas, disponer de medición inteligente y de redes inteligentes de la infraestructura y, a su vez, disponer de almacenamiento de baterías en el sistema y, así, tener unos usuarios activos y con una capacidad de respuesta para el mercado de energía. Estos temas son fundamentales.

El compromiso de Sokol con la innovación va más allá de contribuir a alcanzar esos temas. Por ello, considerando que es conocimiento, la investigación y la innovación son fundamentales para el desarrollo y la transformación del sector eléctrico. Desde 2009, con el apoyo de entidades del sector público y privado a Sokol, se creó el premio Ámbar a la Investigación y Desarrollo del Sector Eléctrico Colombiano.

En ese contexto, el premio Ámbar nació como una iniciativa para apoyar e incentivar la investigación y el desarrollo del sector eléctrico colombiano. Ha contado con el apoyo y respaldo de los sectores públicos y privados, tanto de instituciones representativas de investigación, como de profesionales con amplia experiencia en el campo de la investigación y el desarrollo. Entre otros, el premio es un reconocimiento por parte de los actores empresariales, institucionales y académicos del sector eléctrico a la innovación y al talento del recurso humano existente en el sector. El premio ha contado con el apoyo del Ministerio de Minas y Energía, de la UNED de Colciencias, del Comité Nacional de Operación, del Comité Asesor de Comercialización, del capítulo de La Sierra de Colombia, con el capítulo de Colombia del Consejo Mundial de Energía, con la triple A y con el programa de transformación productiva; también ha contado con el apoyo de destacados profesionales investigadores del país que hacen parte del jurado de calificación.

Este premio se entrega anualmente bajo dos categorías: la categoría de Investigación y la categoría de Innovación y Desarrollo Económico. Se realiza otra convocatoria anual a entidades, a usuarios consultores, universidades y usuarios. De este reconocimiento han surgido iniciativas interesantes, que han tenido y tendrán un impacto beneficioso para toda la sociedad colombiana.

Los primeros trabajos estuvieron enfocados en la electrificación del transporte. Otros trabajos que se han presentado tienen que ver con el incremento de la cobertura y con la utilización de microrredes y soluciones aisladas para incrementar la cobertura y la universalización del servicio para todos los colombianos; igualmente, para el tema de las mediciones inteligentes.

Por ello, es necesario hacer hincapié en la importancia de la unión entre la investigación y el desarrollo con las empresas. Con esta experiencia específica, el premio contribuye a que Colombia avance rápidamente en la universalización del servicio, en el mejoramiento de la calidad, en la electrificación del transporte, en la infraestructura de la medición inteligente y, por supuesto, en la digitalización.

Sería interesante que el Congreso de la República estudie la posibilidad de eliminar la contribución al consumo de energía para efectos de electrificación de transportes, con lo cual se disminuiría los costes en un 20 % y lo pondría en forma similar al combustible y la gasolina. Con ello, se reactivará la economía a partir de la generación de empleo en estos momentos tan difíciles para el país.

Por último, hay que tener en cuenta que se tiene la plena conciencia de las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica. Colombia está frente a una renovación

tecnológica, operativa y funcional sin precedentes, que, por supuesto, ofrece grandes retos hacia adelante. El sector va a invertir, en los próximos cinco años, trece millones de pesos para los temas que ya se expusieron, con la intención de integrar soluciones tecnológicas e innovadoras que permitan el desarrollo de ciudades sostenibles y zonas rurales atractivas, para que haya un bienestar social y un crecimiento económico común en todo el territorio colombiano, máxime en estos momentos tan difíciles por los que atraviesa el país.

Ecosistemas de innovación. Grupo ENEL y el impulso para la ciencia, la tecnología y la innovación

Diana Marcela Jiménez
Grupo ENEL – Codensa – Emgesa

Ingeniera electricista de la Universidad de los Andes, cum laude en MBA Gerencial, máster ejecutivo en Administración y Habilidades Directivas del EADA CENTRUM Pontificia Universidad Católica del Perú. Actualmente hace parte de la junta directiva de Emgesa S. A., ESP, Asocodis y Fundación ENEL.

La seguridad energética se ha abordado desde diferentes aristas, a partir de lo cual se ha establecido una estrecha relación con la innovación como una de sus principales palancas de valor. Así es que, por años, se han identificado algunos cuellos de botella en la adopción y desarrollo de ciencia, tecnología e innovación en el país. Hasta hace unos meses, la ausencia de una política pública explícita en la que se declare la visión del país en los aspectos relacionados con el desarrollo de ciencia y tecnología, e igualmente de una política energética clara y de largo plazo que incentive el desarrollo y aprovechamiento de nuevas tecnologías en el sector, así lo demostraban. No obstante, durante 2019 el país avanzó de forma asertiva hacía la conformación de una Misión Internacional de Sabios convocada por el Gobierno nacional, cuyo objetivo principal fue trazar una hoja de ruta orientada a la formulación, coordinación y ejecución de una política de Estado para el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en Colombia que, a partir del conocimiento, promueva la productividad y competitividad del aparato productivo del país y el desarrollo de la sociedad.

Uno de los principales productos entregados por la Misión de Sabios es la estructura institucional orientada a la gobernanza eficaz del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, la cual comenzó a implementarse en diciembre de 2019 con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Decreto 2226 de 2019, Ley 1951 de 2019), que en adelante opera como un director de orquesta encargado de liderar la estructuración de proyectos con iniciativas atractivas mediante un sistema eficiente y ágil de cooperación y gestión del conocimiento.

Además del Ministerio, la institucionalidad propuesta contempla otras instancias, como el Consejo Nacional de Políticas de Investigación, Ciencia y Tecnología, el Consejo Científico Nacional, la Agencia Ejecutora de los Programas de Investigación, Ciencia y Tecnología y mecanismos de relacionamiento y coordinación. Para el sector de energía, de forma específica contempla la creación de un centro de energía que apoye la misión Colombia Productiva y Sostenible.

A partir de todo lo anterior, comienza a conformarse un ambiente favorable para la creación de ecosistemas de innovación que soporten las iniciativas para seguir fomentando la seguridad energética del país y potenciar los vínculos entre universidad, empresa, Estado, sociedad civil y medio ambiente, así como oportunidades para fomentar las capacidades de la comunidad energética, en la que el fortalecimiento de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), institución encargada de "planear el desarrollo minero-energético, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible", puede aportar como un excelente catalizador de las capacidades en innovación y conocimiento.

En el Grupo ENEL, conscientes del potencial que representa el desarrollo de tales ecosistemas, se ha venido consolidando durante los últimos años un sistema de innovación abierta y sostenible, a partir del cual se ha dado el desarrollo de proyectos e investigación, conformando un gran ecosistema que involucra a cientos de personas a partir de los vínculos con la academia (universidades), los proveedores, los clientes, las entidades financieras, las industrias, los *startups* y el Estado.

Acorde con algunas de las tendencias tecnológicas en seguridad energética identificadas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y el CIDET, el documento elaborado sobre seguridad energética para Colombia se refiere al almacenamiento de energía con baterías y a la movilidad eléctrica, con el ánimo de ilustrar parte de los resultados obtenidos de las iniciativas del Grupo ENEL para fomentar la seguridad energética desde la investigación y el desarrollo tecnológico mediante el aprovechamiento de los ecosistemas

de innovación. A continuación, se presentan algunos de nuestros desarrollos en este sentido:

1) Teniendo en cuenta las experiencias internacionales del Grupo ENEL, con apoyo de la academia, se está desarrollando un proyecto para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica con baterías, siendo esta la primera solución de almacenamiento aplicada en el país que aportará a la resiliencia del sistema. Este tipo de aplicaciones en el sistema eléctrico colombiano impactará de manera positiva la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

2) *Movilidad eléctrica*. En un contexto de mercado hemos incorporado nuevos modelos de negocio y soluciones tecnológicas de recarga para transporte individual y colectivo. Sin embargo, la complejidad de la movilidad urbana seguirá incrementándose y, para poder abordar este tema, el trabajo desde los ecosistemas de innovación nos ha permitido identificar algunas alternativas de innovación tecnológica para encontrar soluciones a este reto futuro en las ciudades. Así las cosas, cuatro aspectos serán claves en la solución a fin de generar cadenas productivas entre los sectores:

    - Conectividad: la difusión del internet de las cosas (IoT) en la infraestructura (APP EVA, o Electric Vehicle Application, desarrollada por ENEL para sistema de gestión de carga eléctrica).
    - Movilidad compartida: las soluciones de movilidad compartida, como el uso compartido de automóviles y de bicicletas, está creciendo con un gran potencial de transformar la movilidad urbana (en ENEL venimos implementado los proyectos *E-bike to work* y BiciCo).
    - Electrificación: la electrificación de sistemas de transporte masivo y por carretera de carga y pasajeros está comenzando a crecer rápidamente, lo cual se materializará con la implementación de buses eléctricos en las ciudades (Transmilenio y SITP), así como el desarrollo de trenes de cercanía.

3) Observatorio de Innovación de Infraestructura y Redes: ENEL Codensa cuenta con un observatorio de innovación para los negocios de distribución, inicialmente focalizado en innovar con soluciones para transporte de energía en alta tensión. Es un mecanismo para explorar soluciones innovadoras de forma abierta (en alianza con la academia), que busca potencializar el proceso de creación de capacidades de aprendizaje organizacional e impulsar desarrollos tecnológicos y científicos.

    A través de este observatorio, se han impulsado distintas iniciativas de innovación, aprovechando el ecosistema vivo, en el que participan más de 50 investigadores de todo el país, cubriendo todos los actores relevantes de ciencia y tecnología en Colombia. Desde su creación hace dos años, se han realizado 19 iniciativas de investigación autofinanciadas por sus retornos directos e indirectos (más de dos millones de euros/año) y cinco solicitudes de patentes en curso.

    Entre las iniciativas reconocidas se encuentra la de "Entrenamiento para trabajo en subestaciones con realidad virtual", reconocido en los premios Ámbar 2019, y "Centauro Electric", que es el primer uso de un robot colaborativo para construcción de líneas de alta tensión del país; a su vez, se ha impulsado la fundación de dos laboratorios de innovación en convenio con la Universidad Nacional de Colombia: (i) laboratorio en automatización de subestaciones eléctricas en la ciudad de Medellín, único en su clase en Suramérica, y (ii) laboratorio de equipos de potencia en la ciudad de Bogotá, recién inaugurado el año pasado.

5) En alianza con otras universidades (los Andes, la Pedagógica y la Tecnológica de Colombia, la Nacional de Medellín, la Pontificia Universidad Javeriana, CESA, Universidad del Bosque, Universidad del Valle y Universidad del Cauca, entre otras) se han venido desarrollando investigaciones y estudios en torno a los siguientes temas: *microgrid*, ciudades inteligentes, almacenamiento, cambio climático y transición energética (*Zero greenhouse gas emissions roadmap para Colombia*), cifrado con *blockchain* de subestaciones de potencia y aplicaciones pioneras, como la evaluación de exoesqueletos en la construcción de líneas de alta tensión, entre otros.

5) El Grupo ENEL viene identificando oportunidades que favorecen la descarbonización de la matriz energética, la digitalización de la infraestructura y el servicio, la descentralización, la urbanización y, en general, la electrificación de la economía. Además, reconoce que la digitalización es la vía para poder habilitar la innovación en los nuevos modelos de negocio de cara a las nuevas alternativas de servicio para los usuarios en su futuro rol de prosumers (consumidores y productores a la vez) con el ánimo de contar con una demanda más activa en la construcción de sector.

   El Grupo ENEL reconoce en la ciencia, la tecnología y la innovación una palanca de valor para continuar trabajando en beneficio de la seguridad energética del país.

La necesidad de un instituto nacional de energía para Colombia

Fanor Mondragón

Graduado de Ingeniería Química de la Universidad de Antioquia, con maestría y doctorado en Ciencias Químicas en la Universidad de Hokkaido, Japón. Obtuvo una beca de investigación de la Comisión Fullbright de Estados Unidos.

Es profesor emérito de la Universidad de Antioquia y miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Es investigador emérito con vigencia vitalicia en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Fue vicerrector de investigación y coordinador del doctorado en Ciencias Químicas en la Universidad de Antioquia.

Ha desarrollado más de 100 artículos científicos, 200 trabajos presentados en eventos, 15 capítulos de libros y 7 patentes, así como 30 proyectos en líneas de investigación relacionadas con la reactividad y conversión de combustibles, diseño, obtención y caracterización de materiales carbonosos y absorbentes, reducción del impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles y catalizadores para la conversión de hidrocarburos. Asimismo, ha brindado asesoría de 25 trabajos de grado, 3 trabajos de maestría y 15 tesis de doctorado.

Ha sido galardonado, entre otros, con el Premio Scopus Elsevier, premio al trabajo más promisorio de Colciencias, Premio a la Investigación Profesoral de la Universidad de Antioquia y la Medalla Francisco José de Caldas, de la Universidad de Antioquia.

Quiero mostrar aquí la contribución del petróleo (que es de 34 %), carbón (27 %), gas natural (24 %), hidro y renovables en los dos que son renovables (12 %) y nuclear (4 %). Si sumamos estas contribuciones, vemos que el 85 % del consumo energético mundial es fósil, y reemplazar cualquiera de estas unidades de petróleo, carbón o gas por las otras fuentes es imposible en estos momentos. Solamente podemos reemplazarlas cuando tengamos la fusión nuclear disponible. Por lo tanto, tenemos que hacer esto de manera ambientalmente amigable, usando el recurso fósil. Es importante mencionar que países hoy desarrollados, como Inglaterra, Japón, Estados Unidos y Alemania, se desarrollaron usando carbón todo el tiempo en otras condiciones. Hoy lo hacen China e India. Debemos entonces usarlo de manera ambientalmente amigable. Pero ¿qué pasa cuando se usa esto, cuando se usa carbón? Pues viene asociada a la producción de CO_2, y esto es un dato del observatorio que hay en Hawái, que nos está diciendo permanentemente en el tiempo cuánto tenemos de CO_2 en la atmósfera, y que nos anuncia que hoy tenemos aproximadamente 417 partes por millón. Es un hecho entonces que hay que controlar el CO_2, pues hay que ser amigables con el ambiente.

Sin embargo, para hacer amigable este asunto, no pueden usarse las tecnologías de combustión y gasificación desarrolladas del siglo pasado. Para poder tener posibilidad de capturar el CO_2 se necesita cambiar la física, la química y todos los procesos involucrados en esta actividad. Es un conocimiento que necesitamos desarrollar aquí en el país. Pero no podemos decir, por ejemplo, que usemos hidrógeno, ya que eso es muy complejo; su almacenamiento es complicadísimo en cualquiera de sus formas.

La propuesta que hacemos es que en el país se constituya un instituto nacional de energía, que se encargue de coordinar muchos esfuerzos dirigidos a desarrollar esta idea. Colombia tiene todas las fuentes de energía posibles, pero debemos hacer investigación básica e innovar para tener producir hidrógeno y gas de síntesis, que es fundamental para la producción de fertilizantes o para el desarrollo de diversos materiales.

Todo esto tiene unas aplicaciones muy concretas en la industria, en el sector residencial y en el transporte, pero, para lograr este objetivo, necesitamos tener unas políticas claras, que no sean, por ejemplo, por poner un caso, biocombustibles, y que la próxima administración diga que los biocombustibles ya no son importantes. Es imprescindible que cualquier ruta que escojamos permanezca en el tiempo, para que no dependa de los intereses de los gobernantes y los administradores de turno.

La movilidad eléctrica: una estrategia desde la academia para la reactivación económica

Ángela Inés Cadena Monroy
Mónica Espinosa Valderrama

La doctora Ángela Cadena es ingeniera electricista y magíster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes y doctora en Ciencias Económicas y Sociales de la Université de Genève. Se desempeña como docente e investigadora asociada al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de los Andes. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con energía, ambiente y economía.

La doctora Mónica Espinosa es ingeniera ambiental, magíster en Ingeniería Civil y Ambiental y doctora en Ingeniería, títulos todos de la Universidad de los Andes. Se desempeña como docente de esta misma institución y ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con energía, ambiente y economía.

Introducción

En esta audiencia sobre seguridad energética convocada para hoy 29 de mayo se propone que la movilidad eléctrica sea considerada una de las estrategias prioritarias para la reactivación de la economía y la generación de empleos formales. Las razones para esta propuesta, como se detallará más adelante, son: (i) resolverá un problema nacional de ineficiencia en el uso de la energía local y de contaminación, ambos bien identificados; (ii) jalonará la modernización de la red eléctrica, señalada como deseable, y abrirá espacio para la oferta energética limpia y robusta, presentada como un importante objetivo de política energética, y propiciará el desarrollo industrial y la formación técnica; y (iii) está soportada en capacidades productivas existentes, un mercado eléctrico sólido y una buena capacidad científica y tecnológica que, organizada en un centro como el propuesto, puede dar rápidos resultados. Por supuesto, es necesario evaluar los costos de inversión e impactos fiscales de esta propuesta e idear esquemas financieros para soportarla.

El senador Iván Darío Agudelo, quien convoca a esta audiencia pública sobre seguridad energética, señala que "el reto de enfrentar el covid-19 revela la escasa preparación de la capacidad productiva nacional para asegurar el mínimo vital de toda la población", y ve necesario que el país cuente con "alternativas de producción locales menos expuestas a riesgos y a las imposiciones del mercado". Para esto propone "implementar una política pública de ciencia, tecnología e innovación" para garantizar la suficiencia farmacológica (y biotecnológica para la salud, añade M. Waserman[11]) y la seguridad alimentaria, y, se propone, la sostenibilidad energética.

Superar la crisis actual requiere propuestas y acciones de política pública de envergadura y de largo aliento, como la que nos convoca hoy, de contar con una política pública en ciencia, tecnología e innovación, a la cual debemos aportar todos en la medida de nuestras capacidades y capitales acumulados. En esta perspectiva se hace la propuesta de movilidad eléctrica. Dice Juan Carlos Echeverri (2020): "Keynes puede tener razón cada 80 años; pero cuando tiene razón, la tiene. Debemos tragarnos la píldora azul y aceptar vivir por un tiempo en la realidad alternativa y keynesiana". Es el momento de actuar con audacia.

Antecedentes

El logro de una movilidad sostenible ha venido siendo considerada como estrategia nacional en los últimos años. Este Gobierno lanzó la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y Sostenible para avanzar en la reducción de las emisiones contaminantes locales y de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire y la salud de los colombianos. Mediante la Ley 1964 de 2019, se promueve el uso de vehículos eléctricos para transporte público y particular, con incentivos a la compra y tenencia.

Con el fin de alcanzar la meta de 600.000 vehículos eléctricos en 2030, señalada por la Misión de Crecimiento Verde, se establecen cuotas de vehículos eléctricos comprados o contratados anualmente, porcentajes de las flotas de transporte públicos con automotores eléctricos y números mínimos de estaciones de carga.

En el Plan Energético Nacional (PEN), sometido a discusión por el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) a principios de este

[11] M: Wasserman. 2020. Soberanía tecnológica. https://www.eltiempo.com/opinion/columnistas/moises-wasserman/soberania-tecnologica-columna-de-moises-wasserman-492984

año[12], se ve necesario una redefinición de los sistemas energéticos con el incremento de nuevas fuentes renovables y de menor intensidad de carbono, la electrificación de la economía y la sociedad aprovechando las ventajas en diversidad y capacidad de la industria, la incorporación de tecnologías y procesos más eficientes para la provisión de servicios y mejores prácticas de eficiencia y ahorro energético. En los análisis de demanda, la movilidad eléctrica es la estrategia número 1 para alcanzar escenarios de reducción de emisiones actuales y de mayor ambición.

En una consulta realizada por Colciencias para definir los lineamientos del Plan Estratégico del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería 2020-2030, se evidenció que una de las diez líneas priorizadas[13] es que el transporte reduzca emisiones de CO_2.

Finalmente, la Misión de Sabios[14], en el Foco de Energía Sostenible, ve que Colombia tiene una ventaja comparativa grande para una transición energética por la disponibilidad de fuentes energéticas y el aporte del conocimiento. Como líneas de acción iniciales se refieren a las propuestas por el World Energy Council para Colombia. En la edición 2020[15] de este reporte, una de esas líneas es el transporte innovador.

En este marco, después de consultas con expertos nacionales, se propone el apoyo a la creación de: (i) una industria electrónica y digital de paneles solares de última generación, instrumentación y control para redes inteligentes y microrredes, y eficiencia energética; (ii) una industria de biorrefinerías para el aprovechamiento de la biomasa; (iii) un laboratorio de ciudades inteligentes y simulación para apoyar la implantación de soluciones tales como transporte eléctrico, eficiencia energética y edificios, acompañados de una componente de cambio cultural.

Esta sucinta revisión indica que el país ha identificado acciones claras en materia de movilidad (y energética, que no se muestran acá) y ha venido trabajando para alcanzar los objetivos planteados en los diferentes planes con el respaldo de una capacidad científica y tecnológica y de ingeniería. Los aportes de esta capacidad pueden indudablemente acelerarse y potenciarse con el respaldo de los doctorados nacionales con el fin de tener "un país mejor preparado para la producción de bienes básicos para hacer frente a futuras amenazas y reactivar nuestra economía con la oferta de empleabilidad que podría generar", y contar con un suministro suficiente, confiable y limpio de energía y prácticas de buena gestión y uso de esta, como propone el senador Agudelo.

Escenarios energéticos según contexto internacional

Se puede analizar la transición energética colombiana en al menos tres escenarios energéticos internacionales[16], de lo cual se derivan implicaciones para la transición energética nuestra:

---

[12] MME-UPME. 2020. Plan energético 2020-2050. Documento para consulta. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf

[13] Ver el documento del Programa.

[14] Vicepresidencia de la República. 2020. Misión de Sabios. Volumen 1.

[15] WEC. 2020. World Energy Issues Monitor 2020. P. 134. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/World_Energy_Issues_Monitor_2020_-_Full_Report.pdf

[16] Inspirados en los escenarios de British Petroleum (2020). Ver BP. 2019. Energy outlook. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf

1) Nos la jugamos por extender al máximo "la vida" de nuestras exportaciones de fósiles, con incentivos para la industria, *fracking* y carbón verde, suponiendo que los precios del petróleo se recuperan de manera razonable para nuestras condiciones de producción. Si el mundo hace una transición más rápida que lenta (escenario *rapid transition*), la producción que no podamos acomodar en los mercados externos se usa internamente. Esto retrasaría claramente nuestra transición energética y, a menos que las políticas de calidad del aire sean lo suficientemente exigentes, la estrategia es movilidad limpia.

2) En el otro extremo, nos la jugamos por una transición acelerada y una reducción de la dependencia petrolera en la economía. ¿Cómo se logra? No es un escenario evidente. Se supone que el mundo hace una transición más rápida que lenta (escenario *more energy*) igualmente. En este escenario, comenzamos con una política agresiva de introducción de tecnologías y combustibles con menor intensidad de carbono. El sector transporte es el primer objetivo de esta política.

3) En un escenario intermedio, tratamos de mantener las exportaciones (con compensaciones, *carbon credits*) y con parte de los recursos generados, que ojalá sean mayores que los incentivos y otros costos de la industria, preparamos la transición comenzando con el transporte (sobre todo movilidad eléctrica y algo de gas), más sustituciones por combustibles más limpios y mayor eficiencia en otros sectores. Este escenario sería más probable en uno de los otros dos escenarios, los medios, que considera BP (*evolving transition*y *less globalisation*).

En los dos últimos escenarios, es claro que la estrategia de movilidad eléctrica es robusta. Se requiere plantear un ejercicio de *minmax regret* para evaluar la estrategia propuesta, principalmente en el primer escenario, y con mayor razón si los precios de los combustibles líquidos no aumentan de manera importante por una menor demanda mundial.

La movilidad eléctrica, una propuesta de política pública

(Prozac temporal para contribuir a la reactivación de la economía)[17]

En esta sección se analizan de manera breve y con diferente grado de profundidad las razones expuestas al inicio para que la movilidad eléctrica sea una de las estrategias prioritarias de la reactivación de la economía y generación de empleos formales.

1) El transporte es ineficiente y muy contaminante, con externalidades negativas para la salud (aumento en tasas de morbilidad y mortalidad principalmente por problemas respiratorios y cardiovasculares por mala calidad de aire), la productividad (congestiones) y el bienestar (siniestralidad).

   Según los datos publicados en la presentación del PEN (UPME, 2020), la participación del sector transporte en la canasta energética de consumo final (y por supuesto útil, como se puede deducir a continuación) ha pasado de ser el 20 % en 1975 al 40 % en 2018. La eficiencia del consumo de energía final en este sector es inferior al 20 %. Tomando como referencia las metas de ahorro del PROURE[18], una reducción del 5 % por mejores tecnologías y modos de transporte produciría un ahorro de alrededor USD 350 millones por consumo final de gasolina y diésel.

[17] Anotación de Luis Ignacio Betancur, coincidente con el señalamiento de J. C. Echeverri referido.
[18] UPME. 2017. Plan de acción indicativo de eficiencia energética, PAI PROURE 2017-2022. https://www1.upme.gov.co/Documents/PAI_PROURE_2017_2022.pdf.

De otro lado, la contaminación del aire en las ciudades colombianas es el principal problema ambiental, como ha sido señalado por diferentes entidades nacionales, regionales y locales, debido a los altos niveles de material particulado. El transporte es la mayor fuente directa de estas emisiones. Según estudios publicados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2017)[19], la contaminación del aire urbano significa 15,4 billones de pesos anuales (1,93 % del PIB de 2015) por gastos en salud asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades; una de cada nueve muertes prematuras en Colombia se atribuye a los altos niveles de material particulado en las ciudades, siendo este el problema ambiental urbano con mayor impacto en la actualidad.

En Bogotá, entre 2005-2016, las infecciones respiratorias agudas fueron la principal causa de mortalidad de la población, y las enfermedades del sistema respiratorio fueron la tercera causa de mortalidad en niños menores de cinco años (Espinosa & Franco, 2020)[20]. Los impactos negativos en la salud por contaminación del aire se han evidenciado en diferentes áreas urbanas del país[21].

Estudios locales evidencian altos niveles de concentración de partículas en microambientes del transporte (v. g., cabinas de buses, alrededor de las vías), que exceden en varios órdenes los estándares recomendados por la Organización Mundial de la Salud[22].

Con relación a las emisiones de GEI, el sector transporte contribuyó con un 12 % en 2010, porcentaje que ha venido en aumento no solo por el crecimiento del parque y del uso de combustible asociado, sino por el tipo de vehículos utilizados. En un escenario BAU (*business as usual*), se espera que la contribución de las emisiones de GEI provenientes del sector transporte sea del 40 % en 2050-2070, si las metas de reducción de deforestación se cumplen[23].

2) Esta estrategia refuerza la de modernización de la red eléctrica (generación distribuida, microrredes, medición, sensores, baterías, otros sistemas de almacenamiento y portadores de energía (H_2)), señalada como prioridad por la Misión de Transformación Energética (MTE)[24]. En efecto, el Gobierno de Colombia trabaja en estructurar una propuesta de modernización del marco institucional y regulatorio que facilite la transformación energética mediante la incorporación de nuevos agentes, tecnologías y esquemas transaccionales en los mercados de energía. En particular, quiere resolver preguntas tales como: (i) ¿cómo asegurar que la regulación permita la innovación o introducción de nuevas tecnologías con suficiente agilidad sin poner en riesgo la confiabilidad?; (ii) ¿cuál debe ser el marco institucional y regulatorio que asegure que el mercado propenda a beneficiar al usuario y generar precios eficientes para la demanda?

3) Se posibilitaría una mayor oferta limpia (mayor espacio para las fuentes no convencionales de energía renovable [FNCER]), tan requerida por la sociedad,

[19] Ver https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-mbiental- en-Colombia-ascienden-a-%2420,7-billones-.aspx.
[20] Ver http://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/16783.pdf.
[21] Ver https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6121387/.
[22] Ver https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231019300482?via%3Dihub.
[23] Datos preliminares de un estudio que adelanta Uniandes para Enel-Emgesa-Codensa, aún en revisión.
[24] Ver https://energiaevoluciona.org/transformacion.

contando con la adecuada seguridad (firmeza desde el gas y otras opciones). A nivel internacional, la transición energética ha estado centrada principalmente en la penetración de renovables y la eficiencia energética. La disponibilidad de inversiones para estas tecnologías es importante y la presión por su instalación, también. Una mayor demanda de electricidad abriría mayores posibilidades de participación de estas fuentes en la canasta de generación nacional. Las opciones que estudia la Comisión de Regulación de Energía y Gas para completar el mercado son clave para aprovechar la complementariedad que ofrecen estas fuentes y responder con la debida flexibilidad a las variaciones de energías, como la eólica y la solar, mientras se dispone de sistemas de acumulación competitivos o generación más firme, como la proveniente de la biomasa y la geotermia. Las interconexiones internacionales serían un buen respaldo para la mayor participación de las FNCER.

4) Se puede encadenar la fabricación o integración de partes y elementos conexos y la innovación en todas las industrias, así como una nueva línea de entrenamiento técnico. Como lo muestra muy bien un estudio adelantado por Fedesarrollo, la industria automotriz y de autopartes, y el comercio asociado, tienen un aporte importante en el valor agregado de la economía y la generación de empleo: "Su relevancia no radica exclusivamente en la producción, el comercio y el consumo final por parte de los hogares, sino que además incluye el rol que juega el sector automotor en el quehacer de los demás sectores de la economía"[25].

   Esta capacidad, que se ha venido formando a través de los años, puede transformarse y fortalecerse para soportar la estrategia de movilidad eléctrica. Si bien los requerimientos laborales en el ensamblaje y mantenimiento de la flota eléctrica pueden ser menores, se anticipa la necesidad y posibilidad de desarrollar cargadores, baterías y partes para su integración a la red eléctrica. Es importante realizar un estudio como el referido para identificar estas opciones y los impactos netos.

   Igualmente, es importante y posible reentrenar a los trabajadores existentes y entrenar nuevos para soportar la estrategia. El Sena y otras instituciones técnicas serían un gran aliado.

5) El mercado eléctrico se ha desempeñado por más de veinticinco años con buenos resultados y, aunque se requieren ajustes, se puede garantizar un soporte sólido, según lo señalan diferentes reportes, entre ellos los de la Misión de Transformación Energética.

6) Lo último, pero no menos importante, es que hay una capacidad tecnológica y científica que puede contribuir al desarrollo industrial del país con integración de sistemas y el desarrollo de innovaciones importantes. Según la información de Colciencias, hay 112 grupos de investigación registrados en el Programa de Investigaciones en Energía y Minería que han mantenido un trabajo relativamente continuo a pesar de las intermitencias de la financiación y se localizan, aunque no de manera uniforme, en casi todo el territorio nacional. En este número de grupos no se incluyen los del programa de ingeniería y tecnología ni los programas de ciencias que sin duda podrían contribuir con esta temática. Esta capacidad se podría potenciar mediante una organización en red y alineación de los trabajos

[25] https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/977/Repor_Julio_2014_Reina_y_Oviedo.pdf?sequence=3&isAllowed=y

realizados por los investigadores, adelantada desde un centro o instituto como el que se discute en esta audiencia pública.

En una consulta rápida realizada con diferentes grupos, principalmente los de una alianza *ad-hoc* para el desarrollo de sistemas distribuidos para una energía sostenible[26], la capacidad de los investigadores podría aportar en:

- Los análisis de uso del suelo en los centros urbanos y el diseño de sistemas de transporte
- El monitoreo y verificación de la operación de los sistemas de transporte
- El desarrollo de vehículos autónomos
- La integración inteligente a las redes eléctricas
- El diseño de incentivos y la evaluación de los impactos y costos de medidas de mejoramiento
- El diseño regulatorio y las evaluaciones de impacto normativo
- La estructuración de esquemas de financiación innovadores
- Los análisis de ciclo de vida para diferentes combustibles, tecnologías, modos y planes
- La formación a diferentes niveles (técnica, profesional y de posgrado)
- El apoyo técnico a municipios y localidades

7) Por supuesto que es necesario revisar los costos y el impacto fiscal de esta propuesta (y considerar todos los beneficios). Entre los impactos se pueden mencionar la reducción de recaudo por sobretasas que afectará los territorios y los mayores recursos para inversiones y adecuaciones. Es importante mencionar que la flota eléctrica en transporte público con alta actividad tiene ventajas en costos netos frente a buses de combustión interna. También hay que incluir los beneficios por reducción de externalidades como las señaladas en el punto 1. Los programas de penetración y sustitución se pueden priorizar por segmentos de flota según sus beneficios netos. Análisis previos para la flota nacional muestra beneficios por impactos evitados en salud del orden de 1490 millones de dólares en un horizonte al 2050 (Espinosa *et al.*, 2019)[27].

[26] Documento en borrador aún no disponible.
[27] Ver https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518306530.

La biodiversidad de Colombia como una fuente alternativa de biocombustibles

Lucía Atehortúa, Ph. D.

Docente e investigadora de la Universidad de Antioquia. Cuenta con un pregrado en Biología de la misma institución, además de una maestría en Ciencias y un doctorado en Filosofía de la City University of New York (CUNY). Ha sido becaria del programa doctoral de The New York Botanical Garden, becaria de la Dow Chemical en la Universidad de los Andes y participante becaria de la ICRO/UNESCO/UNIL y de la Japan Corporation Agency (TICA); además, es consultora y asesora científica del Icetex.

Actualmente coordina el Programa de Biotecnología de la Universidad de Antioquia, en el cual desarrolla investigaciones en la producción biotecnológica de alimentos y productos energéticos y naturales orientados a mitigar el cambio climático global.

Colombia es conocida como el segundo país más megadiverso del planeta después de Brasil; sin embargo, esta rica biodiversidad es poco conocida y valorada, y no se ha logrado integrar a nuestra bioeconomía a través de productos y servicios biobasados dentro de los sectores económicos del país, incluyendo al sector energético nacional, en el cual ni siquiera ha sido considerada como parte de la actual estrategia del Plan Nacional de Seguridad Energética 2050.

Dentro de esta rica biodiversidad existen numerosas especies que podrían contribuir a diversificar e innovar en la actual canasta energética, con nuevas e innovadoras ofertas para la creciente demanda, al mismo tiempo que podrían aportar a la resiliencia frente a los actuales riesgos y amenazas del cambio climático global, los problemas geopolíticos, los problemas ambientales y la actual realidad de nuestra bioeconomía y economía circular, no solo por los devastadores efectos de la pandemia del covid-19, sino también por el corto horizonte de reservas fósiles disponibles que se estiman en siete u ocho años. Dentro de esta rica biodiversidad, las microalgas (macroorganismos fotosintéticos) constituyen uno de los organismos más promisorios para extender la producción de hidrocarburos en forma sostenible, renovable y limpia, además de que contribuyen con 11 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) enunciados por la ONU, para hacerle frente a la inequidad social, la inestabilidad ambiental y la geopolítica global.

Por lo anterior, en la presente audiencia pública sobre la seguridad energética quiero socializar y dar a conocer parte de este gran potencial energético, desconocido e ignorado por la gran mayoría de nosotros.

La inminente declinación de las fuentes de energía fósil, sumada a los problemas geopolíticos, económicos, medioambientales y tecnológicos, han empezado a generar una conciencia global sobre la importancia de cambiar nuestro actual estilo de vida y nuestra creciente demanda energética.

Nuestra producción y consumo de energía tiene una enorme repercusión en el clima y este hecho ha llevado a nuestro planeta a enfrentar la grave amenaza del cambio climático global con todas las funestas consecuencias sobre la vida y nuestro futuro. El cambio climático puede alterar nuestro potencial de producción de energía y nuestras necesidades energéticas. Por ejemplo, los cambios en el ciclo del agua influyen en la energía hidráulica, y el ascenso de las temperaturas aumenta la demanda de energía para los sistemas de refrigeración en verano, mientras que reduce la de los sistemas de calefacción en invierno.

Lo anterior está llevando a nuestro planeta al límite de su capacidad para garantizar una vida sana, una sociedad más equitativa y un manejo y uso sostenible de recursos naturales que permitan garantizar la supervivencia de todos los seres vivos que lo habitan.

Para tener éxito en limitar el calentamiento global, el mundo necesita con urgencia utilizar la energía de manera eficiente, así como cambiar a fuentes de energía limpias, lo que implica un cambio hacia una transición energética que permita un verdadero desarrollo sostenible a mediano y largo plazo.

Como parte de todos estos problemas, la pregunta que surge es cómo podemos garantizar energía renovable y sostenible, a precios justos y con equidad social, para lograr un desarrollo armónico y un planeta viable. La demanda energética es creciente debido a los avances tecnológicos y a que todos deseamos vivir en un mundo de confort sin sacrificar nuestras aspiraciones presentes y futuras.

En consecuencia, Colombia se ha planteado un ideario energético con el fin de garantizar su seguridad energética, que permita hacer una transición desde la dependencia de energía fósil hacia un sistema integral de energías no convencionales. Dentro de esta transición energética surgen algunas alternativas viables, las cuales parecen centrarse principalmente en energía solar (siendo un país tropical), energía eólica y un portafolio de energías a partir de biomasa.

Bajo la anterior premisa, es importante considerar que nuestro país es quizás uno de los más privilegiados a nivel global, con dos mares, ambiente tropical, con todos los pisos térmicos y una gran biodiversidad, lo cual la hace especial dentro del contexto global, y posee un portafolio o canasta energética muy diversa, pero muy centrada en combustibles fósiles, cuyo horizonte de vida útil se ha previsto para unos siete u ocho años. Lo anterior nos convoca a todos a repensar nuestro futuro con fuentes de energía renovables, sostenibles y limpias para evitar una catástrofe ambiental, política, económica y social.

Los estudios de prospectiva energética han mostrado un panorama amplio sobre el potencial de nuestro país para ser un jugador en la arena global en términos de seguridad energética, siempre y cuando nos comprometamos con acciones reales para planear el proceso de transición hacia fuentes renovables.

Sin embargo, para lograr esta transición no solo basta la creación de políticas claras y coherentes, de mediano y largo plazo, sino que se requiere un compromiso de toda la sociedad para apoyar al Estado en el logro de estos procesos, de tal manera que no queden en simples documentos, sin ningún doliente que logre cristalizar y consolidar los buenos propósitos y el ideario energético planteado en el documento de la UMPE del 2016.

Sin embargo, como seres pensantes, no debemos perder la capacidad para tener en cuenta que los escenarios de hoy quizás no sean los de mañana, debido a factores inesperados que son imposibles de predecir y que pueden cambiar todo lo que se ha planeado para nuestro futuro.

La crisis causada por la pandemia del covid-19 es un ejemplo claro de lo que puede pasar, y nos muestra cómo este tipo de situaciones puede generar una incertidumbre hacia el futuro y sobre la economía global, que puede poner en vilo todo lo que hemos planeado para superar la era de los combustibles fósiles.

El mundo se enfrenta hoy a todo tipo de crisis, y la inestabilidad social y ambiental nos pone en una encrucijada frente a nuestro actual modo de vida. Por esta razón, la ONU ha hecho un análisis sobre los problemas críticos que vive nuestro planeta y ha planteado 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, con los cuales debemos comprometernos si realmente queremos sobrevivir para garantizar la viabilidad de este planeta.

Dentro de estos objetivos, la biodiversidad se constituye en la base de la sostenibilidad de la vida y de las demandas alimentarias, energéticas y ambientales. Esta biodiversidad representa la forma como se mueve y transforma la energía del planeta.

La vida en nuestro planeta, tal como la conocemos, fue posible gracias a la diversidad de microorganismos, entre ellos las microalgas, que fueron la base para crear las condiciones ambientales (oxígeno, ciclos geoquímicos, agua, suelo, entre otros) y han sido clave para que el planeta evolucionara hacia la diversidad que hoy conocemos y de la cual dependemos.

Entre todas las microalgas que han sido objeto de estudio biotecnológico se ha fijado particular atención a la especie conocida como *Botryococcus braunii*, una microalga única en su especie debido a que produce complejos hidrocarburos de cadena larga y rara composición, que son exportados a la matriz extracelular (Wan *et al.*, 2019).

Históricamente, *Botryococcus braunii* ha sido identificada conformando sedimentos fósiles de periodos cámbricos y precámbricos que son fuente de petróleo (Glikson *et al.*, 1989), lo cual expone su grado de adaptación y atribuye un alto valor a los hidrocarburos producidos por esta especie, que además conservan similaridad con moléculas que componen el queroseno (Vandenbroucke *et al.*, 1989), y explica el gran interés global en el tiempo por la obtención de conocimiento acerca de su biología. Paradójicamente, no fue hasta 2017 cuando se secuenció el primer genoma de una cepa de *Botryococcus braunii* raza B, variedad showa (Browne *et al*., 2017), lo que finalmente proporcionó acceso a su información genética, al conocimiento de las rutas biosintéticas utilizadas por este organismo y al uso de mecanismos moleculares relacionados con la biosíntesis de ácidos grasos e hidrocarburos.

Botryococcus braunii se ha clasificado en cuatro razas fundamentales, denominadas A, B, L y S, basadas en el tipo de hidrocarburo que biosintetizan (Hegedűs *et al.*, 2016). La raza A produce n-alcadienos (C25-C31), la raza B produce triterpenos ramificados llamados botryococcenos (C30-C37), además de esqualeno, y la raza L produce tetraterpenoides simples conocidos como licopadienos (C40) (Volkman, 2014). Existe además información acerca de una raza adicional denominada S, que produce n-alkanos y epoxialcanos, y carece de botriococenos y licopadienos (Kawachi *et al.*, 2012).

Las altas cantidades de producción de aceites, que superan el 80 % en peso seco, comparada con cultivos tradicionales como soya y palma en los cuales es menor de 5 % (Li *et al.*, 2015), la rápida eficiencia fotosintética, sus limitados requerimientos en nutrientes y la escasa competencia por fuentes nutricionales con la agricultura convencional, le otorgan una ventaja competitiva a esta microalga, todo esto sumado a la habilidad para reemplazar sus hidrocarburos una vez han sido extraídos de su matriz extracelular por un proceso conocido como *milking* (sin generación de daño celular). Todo esto es lo que hace a esta microalga gran objeto de interés para el desarrollo de procesos industriales (Moheimani *et al.*, 2013), que podrían contribuir a extender la posibilidad de producir los actuales combustibles líquidos, además de aprovechar la infraestructura de las biorrefinerías para producir bienes y servicios que seguiremos demandando a medida que se incrementa la población global.

La Universidad de Antioquia, con el apoyo de la Agencia Nacional de Hidrocarburos y Colciencias, ha iniciado una serie de investigaciones con esta especie y con las cuales esperamos desarrollar en el futuro una producción de biohidrocarburos sostenibles, renovables y amigables con el medio ambiente, conjuntamente con el desarrollo de procesos de biorrefinería para la producción de bienes y servicios (productos biobasados) que contribuyan a consolidar una verdadera bioeconomía y a desarrollar una economía circular para proteger el medio ambiente y el futuro de la vida en nuestro planeta.

Referencias

- Browne DR *et al.* Crossm draft nuclear genome sequence of the liquid hydrocarbon – Accumulating green. *Am. Soc. Microbiol*. 5, 16-17 (2017).

- Glikson M, Lindsay K, & Saxby J. *Botryococcus*-A planktonic green alga, the source of petroleum through the ages: transmission electron microscopical studies of oil

shales and petroleum source rocks. *Org. Geochem*. 14, 595-608 (1989).

- Hegedűs A, Mocan A, Barbu-Tudoran L, Coman C, & Dragoș N. Molecular phylogeny of *Botryococcus braunii* strains (race A) – An integrative approach. *Algal Res*. 19, 189-197 (2016).

- Kawachi M, Tanoi T, Demura M, Kaya K, & Watanabe MM. Relationship between hydrocarbons and molecular phylogeny of *Botryococcus braunii*. *Algal Res*. 1, 114-119 (2012).

- Li L, Cui J, Liu Q, Ding Y, & Liu J. Screening and phylogenetic analysis of lipid-rich microalgae. *Algal Res*. 11, 381-386 (2015).

- MinCiencias. Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo (2016). https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del mundo

- Moheimani NR, Cord-Ruwisch R, Raes E, & Borowitzka, MA. Non-destructive oil extraction from *Botryococcus braunii* (Chlorophyta). *J. Appl. Phycol*. 25, 1653-1661 (2013).

- Vandenbroucke M. & Largeau C. Kerogen origin, evolution and structure. *Org. Geochem.* 38, 719-833 (2007).

- Volkman JK. Acyclic isoprenoid biomarkers and evolution of biosynthetic pathways in green microalgae of the genus *Botryococcus*. *Org. Geochem*. 75, 36-47 (2014).

- Wan M *et al.* High-yield cultivation of *Botryococcus braunii* for biomass and hydrocarbons. *Biomass and Bioenergy* 131, 105399 (2019).

Integración de sistemas energéticos y formación de alto nivel

Nicanor Quijano

Ingeniero electrónico de la Pontificia Universidad Javeriana, máster in Electrical and Computer Engineering de la Ohio State University y doctor en Electrical and Computer Engineering de la Ohio State University. Se desempeña como docente de la Universidad de los Andes. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica e informática.

La integración de sistemas energéticos es uno de los temas estratégicos que deberían tratarse en un instituto que busque garantizar la seguridad energética. Estos sistemas son distribuidos, descentralizados y en red, y requieren un análisis, un diseño y un control óptimos de las interacciones entre las dimensiones sociales, regulatorias, económicas y técnicas de los vectores energéticos involucrados. Este tema estratégico, vital para el desarrollo de ciudades sostenibles, beneficiaría al país por medio de pilotos en los que se puedan probar varias estrategias. Para ello, es menester tener personas formadas a nivel doctoral en este tipo de problemas, que le aporten a las empresas y al Estado.

En los Estados Unidos, los llamados centros convergentes de investigación de la Nacional Science Foundation (NSF) buscan atacar problemas de gran envergadura, como los 14 grandes retos de la ingeniería norteamericana, los proyectos del milenio o los 6 grandes retos de investigación de la NSF (National Academies of Sciences, 2017).

Siguiendo estas ideas, así como algunas europeas, el país tiene en mente la creación de institutos de investigación en áreas estratégicas que lo impulsen y lo hagan autosuficiente. Una de las áreas estratégicas es la energía, la cual, para garantizar la seguridad energética del país, debería hacer énfasis en temas estratégicos tales como: i) la concepción robusta y la gestión óptima de microrredes aisladas e interconectadas; ii) el control distribuido de microrredes y recursos energéticos distribuidos (DER, por sus siglas en inglés); iii) la integración masiva de vehículos eléctricos y la electrificación de la demanda; iv) la comercialización distribuida y la aplicación de DLT (*distributed ledger technologies*); v) la observabilidad de redes de distribución, monitoreo y control, *hosting capacity* y *big data*; vi) los nuevos modelos de negocios y mercados, y nuevos actores; y vii) la integración de sistemas multienergía (gas, electricidad, transporte) y el nexo energía-agua-alimentos.

Es sobre este último tema estratégico que hablaremos a continuación, haciendo especial énfasis en que sin formación de alto nivel de posgrado a nivel nacional jamás lograremos dicha autosuficiencia y seguridad que se busca por medio de estos institutos.

Nuestro sistema energético incluye fuentes de energía fósil, hidráulica, renovable, así como térmica, eléctrica y de gas. Estas fuentes, de una u otra forma, se convierten y transmiten a diferentes servicios energéticos (ej., agua, agricultura, transporte), en diferentes escalas geográficas. Las interacciones e interdependencias de estos vectores energéticos y servicios van en aumento, tanto por ser distribuidos como por el hecho de empezar a tener una mayor dependencia de los datos y de las redes de información. Por lo tanto, para poder interactuar de manera óptima, se necesita que existan sinergias entre las dimensiones sociales, regulatorias, económicas y técnicas de los vectores energéticos involucrados. Es decir, es menester tener un análisis, un diseño y un control óptimos de estas interacciones con dichas dimensiones, de manera descentralizada y distribuida.

El concepto de interconectar diferentes dominios energéticos se conoce como integración de sistemas energéticos (ESI, por sus siglas en inglés), concepto que ha sido desarrollado en su mayoría por NREL (*national renewable energy laboratory*) (Kroposki, 2017). Sin embargo, varios autores le han dado otros nombres a esta idea, dentro de los que se encuentran *integrated energy systems*, *multi-energy systems* (MES), *energy internet*, entre otros (Mancarella, 2014). La integración de sistemas energéticos es el proceso de coordinar la operación y planeación de sistemas energéticos de múltiples escalas geográficas para entregar/proveer un servicio confiable y costo-efectivo minimizando el impacto al medio ambiente.

El hecho de integrar dominios energéticos tiene estos beneficios: i) añade flexibilidad al sistema eléctrico y ii) permite la interacción de diferentes vectores energéticos (ej.,

electricidad, gas, térmico) con otras infraestructuras de gran escala (ej., movilidad, agua, TIC). El valor del concepto de ESI está en coordinar cómo los sistemas de energía producen y entregan energía en todas las formas para lograr diferentes objetivos de manera confiable, económica y con un bajo impacto del medioambiente. Algunos beneficios de ESI son: i) la integración de altos niveles de recursos renovables; ii) un incremento en la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de potencia y iii) ahorros significativos en la operación de varios sistemas de manera simultánea (ej., agua, gas, calefacción/refrigeración). Todo esto debido a la flexibilización que produce el hecho de integrar múltiples sistemas energéticos en múltiples escalas espaciotemporales.

El concepto de ESI se ha visto desarrollado en otras áreas bajo la sombrilla de lo que podríamos denominar *resource nexus*. La popularidad de este concepto se remonta al año 2008 en el World Economic Forum, en el que los retos globales en términos de crecimiento económico desde el punto de vista del nexo energía-agua fueron identificados (Tao Ding, 2020).

Desde la conferencia de Bonn del año 2011, cerca de 300 organizaciones lanzaron iniciativas alrededor de los nexos que existen en diferentes áreas (ej., energía, alimentos, agricultura, agua, tierra), y la mayoría de los trabajos científicos se han concentrado en resolver problemas globales, pero con muy poco énfasis en lo urbano y lo rural. Por lo tanto, existe una posibilidad latente para que el país se vuelva pionero en el desarrollo de esta área, que podríamos denominar *hub* de servicios de infraestructura (Infrastructure Services Hub, ISH).

El hecho de poder combinar vectores energéticos y verlos como un todo permitiría el desarrollo de ciudades sostenibles y el control de sistemas de irrigación en canal abierto que ayuden a la agricultura, o incluso múltiples microrredes que combinen diferentes vectores energéticos para poblaciones aisladas del país (Quijano, 2017).

Para poder resolver este tipo de problemáticas, se necesita talento humano que sea capaz de desarrollar algoritmos distribuidos y en red, que pueda proveer metodologías óptimas que incluyen múltiples elementos de este nexo entre diversos recursos. Necesitamos la experticia de personas con conocimientos en diferentes áreas, no solo en la parte de ingeniería (ej., control, comunicaciones, potencia), sino economistas, arquitectos, sociólogos, antropólogos y un grupo amplio de gente que pueda ayudar a entender y desarrollar los problemas que se presenten.

Como país deberíamos invertir en este capital humano que se forme a nivel doctoral en cualquiera de las mejores universidades de investigación del país, las cuales deberían ser las estratégicas de este instituto. Temas de investigación de largo aliento como estos incentivarían a las empresas a financiar proyectos del instituto, en el cual los investigadores asociados aportarían sus conocimientos desde las universidades de investigación a las que pertenecen.

En conclusión, la idea de un instituto de investigación en energía que busque garantizar la seguridad energética del país debería enfocarse en temas estratégicos como los mencionados al principio, dentro de los que se encuentran la integración de sistemas multienergía (gas, electricidad, transporte) y el nexo de recursos que lleven a un *hub* de servicios de infraestructura. Este tema estratégico, vital para el desarrollo de ciudades sostenibles, entre otros aspectos, beneficiaría al país por medio de pilotos en los que se puedan probar varias estrategias ESI utilizando control distribuido óptimo y en red (ej., ciudades intermedias, campos petroleros, campos agrícolas).

Hay que ser, eso sí, muy cuidadosos en la forma como se administrarán los recursos del instituto y en manos de quién pudiese recaer su dirección. Este ha sido uno de los problemas identificados por el NSF, y que en países como el nuestro resulta muy peligroso. El instituto debería tener mecanismos en los que los profesores pudieran moverse entre universidades, así como de estudiantes y expertos que vayan a las regiones para incrementar y transmitir sus conocimientos. Laboratorios de puertas abiertas, proyectos piloto y demostrativos, ayudarían a que los recursos se destinen de mejor forma, pero que estos no estén limitados al lugar donde se encuentren, sino que favorezcan a las personas y empresas que quieran hacer investigación en esas áreas en el país.

Si logramos esto, además de potenciar los doctorados nacionales en las mejores universidades de investigación del país en el área de energía, comenzaremos a dar los primeros pasos para la seguridad energética que esta iniciativa busca.

Referencias

- Kroposki MO (2017). Unlocking felixibility: energy systems integration [guest editorial]. *IEEE Power and Energy Magazine*, 10-14.

- Mancarella P (2014). MES (multi-energy systems): an overview of concepts and evaluation models. *Energy*, 1-17.

- Tao Ding LL (2020). Water-energy nexus: the origin, development and prospect. *Ecological Modelling*, 108943.

- National Academies of Sciences, E. a. (2017). A new vision for center-based engineering research. Washington, DC: The National Academies Press.

- Nicanor Quijano, C. O.-M.-G.-N. (2017). The role of population games and evolutionary dynamics in distributed control systems: the advantages of evolutionary game theory. *IEEE Control Systems*, 70-97.

Podemos estar preparados

José Germán López Quintero

Ingeniero electricista de la Universidad Tecnológica de Pereira. Se desempeña como docente y director de la Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica y electrónica.

En una conferencia de TED-2014, Bill Gates (TedTalk, 2014) mostró su preocupación frente al brote de una pandemia. Su conclusión: el mundo no estaba preparado. Asimismo, un gran número de académicos lo habían manifestado con anterioridad. Pero a pesar de la enorme insistencia, si un filántropo millonario no despertó las alertas del mundo, mucho menos lo harían los académicos, poco oídos en la sociedad.

La situación descrita me hace recordar a Casandra, hija del rey Príamo, que, por predecir la caída de Troya y la muerte de Agamenón, fue castigada por los dioses con ser ignorada. La maldición de Casandra la compartimos todos los académicos en el mundo, porque nuestras predicciones casi siempre obligan a ver la incómoda realidad.

En 1992 se produjo una crisis eléctrica que derivó en una crisis económica. Aunque se suele decir que el apagón se produjo a causa del fenómeno del Niño, nuestra conclusión aparentemente evidente es que el apagón fue el resultado de no estar preparados. Pero en este tema energético, ¿cómo podemos estar preparados? y ¿ante qué debemos estar preparados?

Empecemos por la segunda pregunta. Aunque no tenemos la precisión de Casandra, hemos identificado algunos riesgos. El calentamiento global hará más extremas las condiciones climáticas, por lo que fenómenos como el Niño serán más frecuentes y severos y afectarán nuestro sistema hidroeléctrico. Debemos, por tanto, diversificar la matriz energética mediante la integración de energías no convencionales.

Estas formas de generación pueden incursionar en forma de granjas eólicas y solares que requieren de grandes inversiones, pero también de pequeños generadores en el usuario final, democratizando el mercado y haciéndolo más competitivo. El segundo riesgo, claramente identificado, es la dificultad de aumentar la oferta para la demanda creciente de electricidad, producto de la penetración masiva de vehículos eléctricos, del uso de aires acondicionados que serán más comunes con el aumento de la temperatura y del reemplazo de combustibles fósiles por electricidad. Así como sucedió con los teléfonos móviles, el precio de los vehículos puede bajar y permitir su masificación.

Ahora intentemos contestar la primera pregunta: ¿cómo podemos estar preparados? Aunque no es definitiva, tenemos una respuesta parcial: debemos insistir en el fortalecimiento de las capacidades en investigación y desarrollo tecnológico.

Resulta clara la necesidad de introducir energías renovables no convencionales, pero su potencia es altamente variable debido a los cambios súbitos en la radiación solar, en los vientos y en las olas del mar. Esta variabilidad ocasiona oscilaciones en el sistema, que pueden llevar a apagones y desconexiones. Ahora, para garantizar la adecuada penetración, tanto de las energías renovables como de la movilidad eléctrica, es necesario tener en cuenta tres elementos claves: i) elaborar mejores algoritmos de predicción y planeación, ii) modernizar los sistemas de distribución y iii) incluir elementos almacenadores de energía. En estos tres aspectos, la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) ha desempeñado un papel muy importante en la generación de nuevo conocimiento. A continuación, se analizan en detalle.

Predicción y planeación. Las dinámicas, tanto de la generación como de la demanda, son complejas en el corto, el mediano y el largo plazo, pero se pueden predecir. Para hacer una adecuada predicción y planeación, se deben desarrollar nuevas metodologías matemáticas de modelamiento, pero también unificar bases de datos de instituciones del país aparentemente disímiles; por ejemplo, Ideam (institutos municipales de movilidad).

Se requiere un adecuado balance entre investigación básica e investigación aplicada para generar las metodologías que ofrezcan soporte a los diferentes agentes de la cadena.

En investigaciones recientes en la UTP se ha usado la información de movilidad de la ciudad de Pereira para predecir los cambios en los patrones de demanda frente a una eventual masificación de vehículos eléctricos, e incluso hemos usado la información de movilidad para predecir espacialmente la expansión del covid-19 (Garcés, 2018; Granada-Molina, 2020). Asimismo, la UTP es fuerte en la línea de planeación de sistemas eléctricos a todo nivel de tensión.

La predicción de la generación y la demanda en tiempo real y en el largo plazo requiere un trabajo interdisciplinario, plata institucional y multidimensional. Un instituto de energía puede convertirse en el ente que articule la investigación teórica con la innovación y el desarrollo tecnológico en esta área, para darle soporte a la toma de decisiones del Gobierno, la industria y la sociedad.

Modernización de la distribución. El Sistema Interconectado Nacional (SIN) representa la parte más fuerte de un sistema eléctrico, el cual se ramifica en sistemas de distribución que llevan la energía hasta el usuario final. El SIN es altamente eficiente, porque cuenta con tecnología de punta que le permite monitorear y controlar la red de forma centralizada y en tiempo real. Los sistemas de distribución en los territorios, en cambio, presentan una brecha tecnológica con respecto de los sistemas de transmisión, y entre ellos hay disparidades.

La modernización de los sistemas de distribución debe ser coordinada, así que un instituto de energía establecería estándares de actualización e interoperabilidad. De la mano de lo anterior, ese instituto de energía podría incrementar las capacidades del talento humano para afrontar estos cambios disruptivos. En la Décima Encuesta Global Anual de Presidentes de PricewaterhouseCoopers, los CEO de las compañías del sector eléctrico muestran preocupación por alcanzar niveles de formación en tecnologías emergentes (PwC, 2020). Así mismo, el instituto debería presentar estudios permanentes de prospectiva que permitan a los operadores de red tomar decisiones informadas. La UTP ha participado en estudios importantes de prospectiva y brechas tecnológicas en el sector, y entre ellos se destaca el trabajo "Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia" (UPME, 2016).

Almacenamiento de energía. Estos elementos son clave para disminuir la alta variabilidad del recurso primario en las redes del futuro, así como para hacerlo más eficiente. Dentro de la variada tecnología disponible se tienen las centrales hidroeléctricas de bombeo, los sistemas de almacenamiento magnético por superconducción, los supercapacitores y los volantes de inercia. Aunque los grados de madurez de cada una de ellas son diferentes, se requiere preparar el terreno para la adopción de las mismas. Un instituto de energía se encargaría de la vigilancia tecnológica, así como de incentivar la creación de nuevo conocimiento transferible a la industria y la sociedad. La UTP ha desarrollado diferentes investigaciones, tanto en investigación básica como en investigación aplicada en este sentido (ver, por ejemplo, Montoya *et al*., 2019).

Luego de abordar estas tres líneas de trabajo (predicción, modernización, almacenamiento), es importante destacar la importancia de un instituto de energía, orientado a la investigación y no a la consultoría. El sector eléctrico colombiano cuenta con un conjunto de empresas consultoras altamente competitivas. Por tanto, un instituto de energía no debe competir con este sector ya consolidado. Este centro, junto con la industria y las universidades, deben generar fortalezas en I+D+i estratégicamente, que nos permitan

estar preparados frente a las eventualidades de un futuro incierto y cambiante. Es necesario avanzar hacia un equilibrio entre los requerimientos de la industria y la rigurosidad de la discusión académica, tarea difícil que requiere llegar a consensos que los organismos estatales pueden facilitar y que lograrán desarrollos funcionales con la mirada de largo plazo. Las necesidades de la industria son usualmente urgentes y con dinámicas de mercado, por lo que se suele sobreponer a la visión de largo plazo. Henry Ford planteaba que "si le hubiera preguntado a la gente qué querían, habrían dicho que caballos más rápidos"; esto, en el momento en el que se aventuró a desarrollar los automóviles. En este sentido, el instituto podría articular la tríada empresa-universidad-Estado en el desarrollo energético.

Nunca estaremos lo suficientemente preparados frente a una crisis, pero si nos fortalecemos en capacidades I+D+i podemos tomar decisiones y actuar de manera estratégica aun en eventos en los que la coyuntura sea adversa. No podemos evitar la próxima crisis en lo energético, pero con la creación del instituto de energía podemos estar mejor preparados. Esa debe ser una de las lecciones aprendidas de la coyuntura del covid-19.

Referencias

- Montoya (2019). Montoya Danilo. Passivity-based analysis and control of AC microgrids integration, operation and control of energy storage systems. Tesis doctoral. Doctorado en Ingeniería. Universidad Tecnológica de Pereira. 2019.

- Garcés (2018). Desarrollo de una metodología de V2G para redes inteligentes usando optimización convexa. Proyecto de investigación financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión. Universidad Tecnológica de Pereira.

- Granada-Molina (2020). M. Granada-Echeverri, A. Molina-Cabrera, y P. Granada Echeverri. Proyección espacio-temporal del covid-19 en Pereira. *Revista Tecnológicas* - ITM. Medellín. Mayo de 2020.

- TedTalk (2014). En: https://www.youtube.com/watch?v=6Af6b_wyiwI&feature=emb_logo

- UPME (2016). Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia.

- PwC (2020). PricewaterhouseCoopers. El camino hacia un nuevo mundo. Encuesta Global Anual de Presidentes 10.ª edición para Colombia. 2020.

Investigación para la diversificación de la matriz energética colombiana

Franklin Jaramillo Isaza

Ingeniero químico de la Universidad de Antioquia y doctor en Química de la Universidad de Manchester. Se desempeña como investigador del CIDEMAT y docente titular del Departamento de Ingeniería de Materiales en la Universidad de Antioquia. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería, tecnología, nanotecnología e ingeniería de los materiales.

Es importante que las intervenciones desde la academia se puedan tener en cuenta en algún momento para generar una política articulada referente a ciencia, tecnología e innovación.

La seguridad energética es uno de los elementos claves dentro de la sostenibilidad energética y claramente en el Consejo Mundial de Energía y la Agencia Internacional de Energía así se describen, siendo un componente fundamental, al igual que los temas de diversificación y de eficiencia energética.

Ángela Wilkinson ha resaltado que Colombia no está bien clasificada en temas referentes a la seguridad energética, diferentes a transición energética. Según esto, en el tema de seguridad energética Colombia carece de solidez, y es el campo en el que posiblemente exista una brecha dada la alta dependencia conforme con la situación actual en Colombia.

Por ejemplo, 1,6 millones todavía usan madera de carbón para temas de cocción, y esto nos hace ver la importancia del recurso hídrico, pero infortunadamente se genera la incertidumbre con la situación imprevisible de los embalses. Los niveles históricos sin precedentes desde los últimos 20 años han llevado a una menor demanda y bajos precios de energía. Seguramente hasta que se dé un periodo de recuperación y se logre estabilizar la demanda, no se entrará en una situación normal.

Las oportunidades que debemos considerar seriamente están en la diversificación de la matriz, en este caso eléctrica, pero hay que garantizar primero el suministro de energía a corto y mediano plazo; por otro lado, las energías renovables claramente son una opción, fundamentalmente las de tipo solar, eólica y de biomasa.

Ya varios expositores han mencionado el potencial en biomasa que se tiene, además del hidroeléctrico. Sin embargo, es a pequeña escala, y lo que se necesita es plantear un incremento del 10 % o 12 %, que es la meta del Gobierno, a un 18 % o 21 % para 2030. Estos porcentajes pueden ser una meta ambiciosa, pero si se les quita un poco de peso al tema térmico y a la hidroeléctrica, esto llevará a un estímulo económico.

Sin duda, debe invertirse en la energía renovable, pero simplificando trámites y aprovechando la infraestructura de gran despliegue para aumentar fuentes de trabajo. La generación mundial de empleo en los años 2016-2017 fue aproximadamente de 10,3 millones de plazas, provenientes solamente de proyectos que involucran energías renovables en el mundo. Esto muestra que allí hay una apuesta interesante, que permite implementar a corto plazo nuevos modelos en términos de cadenas de valor, específicamente en mipymes y en actividades semejantes. Son temas que tienen que ver con el desarrollo de *software*, que puede hacerse aprovechando capacidades locales y nacionales, sin que sea necesario esperar la importación de dichos insumos.

En el mundo hay programas muy interesantes respecto de este asunto. Por ejemplo, en la India, las mujeres con título en ingeniería solar, e incluso mujeres que no poseen este nivel académico, se apropian de la tecnología y le enseñan a su comunidad cómo ensamblar y utilizar este tipo de tecnologías. En La Guajira, que cuenta con una enorme capacidad eólica y solar, podrían implementarse proyectos de este tipo, tal vez a través de la alianza Séneca (Sostenibilidad Energética para Colombia).

Hay, además, líneas transversales. La primera tiene que ver con el desarrollo de tecnologías de generación y almacenamiento en función de baterías renovables intermitentes, con hidrógeno como vector energético fundamental, y el gas natural sintético, a través de captura de CO_2, y el hidrógeno por electrólisis de excedentes de energías renovables. El

aprovechamiento de la biomasa residual, dado su gran potencial y la eficiencia energética con asuntos transversales como la integración, las microrredes y la valoración económica ambiental, son opciones muy pertinentes.

Para concluir, quiero decir que estamos de acuerdo con la propuesta de crear un instituto de investigación e innovación en energía, que permita articular el eje universidad, empresa, Estado y sociedad. Allí debería implementarse una plataforma integrada para el desarrollo tecnológico de energía sostenible con financiación directa estatal, lo cual permitiría hacer investigación básica aplicada a procesos más avanzados de transferencia tecnológica y adaptaciones a la integración con otros institutos del país. Si a esto se le agregan sedes en otros lugares, se podrían atender las capacidades y las necesidades energéticas de cada una de las regiones.

La pertinencia de la investigación y el desarrollo tecnológico en combustión avanzada en un instituto nacional de investigación en energía

Andrés Adolfo Amell Arrieta

Ingeniero mecánico de la Universidad de Antioquia y máster en Economía de la Energía y los Recursos Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se desempeña como docente investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, coordinador del Grupo de Ciencia y Tecnología y Uso Racional de la Energía (Gasure) y director científico de la Red Nacional de Investigación e Innovación en Combustión Avanzada (Incombustión). Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con eficiencia energética, energía térmica, combustión, incidencia de las condiciones atmosféricas sobre sistemas energéticos térmicos y relaciones entre la energía, la economía y el ambiente.

En el mundo, y Colombia no es la excepción, el uso de los combustibles fósiles y de origen renovable representa aproximadamente un 80 % de la demanda final de energía, por cuanto se requiere de la combustión para obtener la energía térmica almacenada en dichos recursos. De otro lado, los sistemas energéticos térmicos en los sectores industrial, residencial y de transporte presentan un alto grado de obsolescencia tecnológica y baja eficiencia térmica, lo que influye fuertemente en la productividad de los procesos y en las emisiones contaminantes superiores a los estándares establecidos, y en muchos casos con impactos negativos sobre la salud ocupacional.

Por lo anterior, es de suma importancia la implementación de un centro en energía en el que se considere en su agenda, entre otros temas, la investigación y la innovación tecnológica en nuevos tipos de combustión, complementadas con programas demostrativos y adaptación y transferencia tecnológicas a la industria colombiana, permitiendo la modernización de los sistemas de combustión y calentamiento con el aumento de la eficiencia energética y la disminución en las emisiones contaminantes.

Colombia es una sociedad energéticamente ineficiente. Según la UPME, por cada terajoule (TJ) de energía final que entra a la economía, se utilizan 0,2, lo que permite estimar los costos anuales de las pérdidas de energía en 6700 a 11.000 millones de dólares.

Estudios realizados por la Red Incombustión en el sector industrial colombiano han encontrado que en procesos de calentamiento de baja temperatura que usan sistemas de vapor las eficiencias energéticas son menores del 70 %, cuando en el estado de la técnica internacional ya se reportan eficiencias mayores del 90 %. En procesos de alta temperatura, en su mayoría las eficiencias no pasan del 30 %, cuando en el estado de la técnica hoy se dispone de eficiencias mayores del 60 %.

En resumen, en materia de combustión y calentamiento el sector industrial colombiano se caracteriza por un alto grado de obsolescencia tecnológica, muy bajas eficiencias energéticas y emisiones contaminantes que no cumplen estándares internacionales, situaciones que inciden en la productividad y la competitividad de la industria nacional y profundiza la brecha tecnológica por la no adopción ni la implementación de tecnologías modernas y eficientes como la combustión sin llama, la combustión catalítica, la oxicombustión, la combustión con recuperación autorregenerativa de calor, la combustión en medio poroso, la combustión con condensación (*chemical looping combustión,* CLC), la combustión de las mezclas de gas natural e hidrógeno, hidrógeno puro y, muy débilmente, la combustión de combustibles sólidos en lecho fluidizado.

La investigación y la innovación tecnológica en nuevos tipos de combustión, complementadas con programas demostrativos, adaptación y transferencia tecnológica a la industria colombiana, permiten modernizar los sistemas de combustión y calentamiento, lo que posibilitaría aumentar la eficiencia y la productividad de los procesos en aproximadamente un 25 %, y con ello la competitividad del sector productivo intensivo en consumo de energía térmica, tanto en grandes consumidores como en pymes. También permitirán la complementariedad entre las fuentes convencionales y las energías renovables en procesos de calentamiento industrial.

De otro lado, se abre la posibilidad al desarrollo de empresas fabricantes de equipos y sistemas de combustión, como también servicios tecnológicos especializados, que incorporen las nuevas tendencias tecnológicas para satisfacer el requerimiento del mercado nacional y latinoamericano.

En estudios recientes de la Red Incombustión se ha encontrado que la importación de tecnologías de combustión y calentamiento puede representar un costo de los proyectos de modernización tecnológica para industrias colombianas entre un 35 y un 60 % comparados con proyectos similares en condiciones del mercado de Estados Unidos. Por lo anterior, se hace necesario la desagregación tecnológica de los proyectos para garantizar la mayor participación posible del componente nacional, en condiciones de calidad, cumplimiento de normas técnicas y costo.

En este contexto hay también la posibilidad de que se consoliden *spin off* universitarias de grupos de investigación que ya tienen desarrolladas prototipos de equipos de combustión y calentamiento con tecnología moderna, en una escala de madurez tecnológica muy avanzada[28], lo cual se constituye en una oportunidad para avanzar en la aplicación de la Ley 1838 de 2017 sobre *spin off* aprobada por el Congreso de la República.

Como respuesta al contexto anteriormente planteado y en la perspectiva de consolidar una estructura estable de largo plazo con la mayor participación posible del sector productivo e instituciones formuladoras de políticas en el tema de eficiencia energética y desarrollo tecnológico industrial, se constituyó en 2013 la Red Nacional de Investigación e Innovación en Combustión Avanzada de Uso Industrial (Incombustión), con la financiación de Colciencias y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la participación de las empresas Sumicol, Nutresa, Imal, Mejisulfatos y Penagos.

Actualmente, la Red Incombustión está constituida por la Universidad de Antioquia a través de los grupos de investigación Gasure (Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía-A1) y Quirema (Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente-A1); la Universidad Nacional, a través del grupo Tayea (Termodinámica Aplicada y Medio Ambiente-A1); la Universidad del Valle, a través del grupo CTC (Ciencia y Tecnología del Carbón-A1); y el Instituto Tecnológico Metropolitano, a través del grupo Materiales Avanzados y Energía A1. La experiencia acumulada y los exitosos resultados obtenidos por la Red Incombustión durante los últimos siete años se constituyen en una contribución importante para la creación y estructuración del instituto nacional de energía.

[28] Para constancia, ver el siguiente enlace: https://view.genial.ly/5d2e328c1faa280f932c98a1.

Soluciones energéticas basadas en energías renovables para el acceso a la tecnología en zonas aisladas rurales

Oswaldo López Santos

Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, máster en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y doctor del Institut National des Sciences Apliquées Automatique. Se desempeña como docente de la Universidad de Ibagué. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica e informática.

La energía eléctrica es un recurso fundamental para todas las actividades humanas de la actualidad. Por lo tanto, el acceso a la misma tiene un peso muy importante en el progreso social y el desarrollo económico, pero también en la calidad de vida de las personas.

No obstante, dada su relevancia, su ausencia implica condiciones de fragilidad y vulnerabilidad que afectan a comunidades enteras alrededor del mundo. Aunque existen soluciones tecnológicas confiables para que esto no ocurra, estas carecen de la flexibilidad para adaptarse al crecimiento gradual de la demanda en una población y por lo tanto se convierten fácilmente en inviables o insuficientes. En el sentido del desarrollo tecnológico, esta limitante demanda especial atención, ya que la población afectada es precisamente más desfavorecida y tiene limitado su desarrollo, pues permanece en el olvido debido a criterios estrictamente económicos.

Por muchos años, los sistemas eléctricos han estado soportados por los sistemas electromecánicos robustos de generación y grandes infraestructuras de transmisión y distribución, cuyo elevado costo es conocido. Recientemente, con el surgimiento de la generación distribuida, las capacidades de generación localizada han sido aprovechadas a través de la implementación de parques solares y eólicos incrementando la capacidad y la eficiencia de los sistemas eléctricos.

A su vez, esta evolución ha traído nuevos desafíos para desarrollar normatividades y desarrollar sistemas informáticos de seguimiento y predicción. Como parte de este avance, las microrredes emergen como sistemas distribuidos geográficamente conformados por elementos de producción, acumulación y consumo de energía. Estos elementos se interconectan a través de convertidores de potencia, los cuales son dispositivos electrónicos que permiten el procesamiento y la administración de la energía con el fin de asegurar estándares de calidad óptimo aprovechamiento de los recursos.

En una microrred, los convertidores pueden operar de forma independiente con un control propio o pueden hacer parte de una estructura modular en la que intercambian información con otros convertidores o con un nivel superior. Mientras más información se pueda intercambiar entre ellos, y con un sistema superior de supervisión y control, mayor podrá ser la inteligencia y autonomía que ofrecen como sistema. Con el enfoque de "microrred rural" es posible desarrollar sistemas comunitarios, autónomos y flexibles que permitan, por un lado, mejorar las condiciones de vida de los habitantes de zonas no interconectadas y, por otro, potenciar sus actividades económicas.

Estos sistemas pueden crecer junto con la demanda de las comunidades si se conciben para ello desde una perspectiva modular y si su implementación involucra de cerca a los beneficiarios que finalmente tendrán que hacerse cargo de su sostenibilidad. Las microrredes pueden aprovecharse para soportar el consumo energético de centros de salud, escuelas, sistemas de bombeo y potabilización de agua e infraestructura de comunicaciones para proveer internet generando impactos directos en la calidad de la salud y la educación. Asimismo, a través de ella es posible soportar el consumo energético de sistemas de control de riego, monitoreo en línea y otras aplicaciones que potencian el sector rural y agrícola.

La electrónica de potencia del país tuvo su apogeo en los años ochenta, pero se vio contundentemente afectada por la apertura económica del fin de siglo debido a los bajos precios de los productos provenientes de China, contratando la industria y llevándola a la comercialización y soporte técnico de tecnología extranjera. La moraleja es que la ausencia de investigación sostenida en el área impidió la rápida reacción requerida para innovar y hacer frente al nuevo escenario competitivo.

Luego de varios años, el país ha construido fortaleza en su academia en este campo a través del capital humano con capacidades para investigación, lo que se evidencia en las publicaciones científicas de los nacionales en revistas científicas de alto impacto, los diversos proyectos realizados con compontes prácticas relevantes y su reconocimiento en las comunidades académicas internacionales. Estos resultados están a la espera de dar el salto entre el laboratorio y la operación en las condiciones reales de productos comerciales.

No obstante, para llevar a un nuevo estadio el desarrollo de las microrredes en Colombia es necesario crear institutos o centros de desarrollo tecnológico regionales enfocados en energía y soportados por grupos de investigación activos y experimentados con la capacidad de formar capital humano de alto nivel, brindando la infraestructura adecuada para avanzar. Consecuentemente, la creación de un instituto de energía a nivel de país es la forma estratégica de coordinar esfuerzos distribuidos en ciudades y regiones vinculando múltiples actores del sector energético desde la academia y la industria para la sociedad. Esta estructura es clave para canalizar el apoyo del Estado y del sector privado garantizando el avance de grupos, centros e institutos de investigación localizados en las regiones y como parte de una red nacional que promete integrarse fácilmente en la región latinoamericana y a nivel global.

La pertinencia de crear un instituto de energía en Colombia

Manuel García-Pérez

B. E. en Ingeniería Química de la Universidad de Oriente (Santiago de Cuba), M. Eng. en Ingeniería de Procesos de la Universidad de Oriente (Santiago de Cuba), M. Sc. en Ingeniería Química de la Universidad Laval (Québec, Canadá), Ph. D. en Ingeniería Química de la Université Laval (Québec, Canadá), post-doc en el Departamento de Ingeniería Biológica y Agrícola de la Universidad de Georgia y post-doc en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Monash. Se desempeña como profesor asociado de la Washington State University. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería de bioenergía y bioproductos y aborda la carga ambiental asociada con la disminución de los recursos petroleros del mundo.

Antes que nada, quiero agradecerles por la oportunidad de dar mi modesta opinión sobre la pertinencia de crear un instituto de energía en Colombia. Me referiré principalmente a la Política Pública de Ciencia, Tecnología e Innovación. Permítanme utilizar los primeros minutos de mi intervención para exponer el contexto en el que responderé a su pregunta.

Quiero comenzar por reconocer la ética, la sabiduría y las contribuciones de la primera generación de doctores colombianos que, desde una universidad tradicional y con limitada capacidad de investigación, contribuyeron a la "evangelización" científica de Colombia. Esos pioneros, la mayoría doctores graduados en el extranjero y que hoy tienen más de 60 años, modernizaron la educación colombiana y le regalaron al país un sistema que hoy gradúa a cientos de doctores cada año. Este proyecto social y humano les dio sentido a sus vidas y ha resultado en una gran contribución social.

El trabajo de hacer buena ciencia y tecnología siempre está asociado a una necesidad existencial que libera energías creativas necesarias para la salud física e intelectual de los investigadores. Es en este sentido que quiero referirme a una enfermedad existencial que agobia a los científicos de mi generación en todo el mundo y por supuesto también a la segunda generación de doctores colombianos, que hoy tienen entre 40 y 55 años.

Luego de realizar un doctorado y graduarse a los 30 años, luego de hacer un postdoctorado en el extranjero, luego de obtener un puesto de profesor y de graduar 10 doctores, llegamos a los 50 años con más de 150 publicaciones, una familia, padres en avanzada edad, y con la gran pregunta de qué hacer en los últimos 15-20 años de nuestra carrera profesional. En el mundo ideal utilizaríamos la experiencia alcanzada para crear nuevos servicios y equipos que den ventaja competitiva al país. Nuestra angustia existencial es si lanzarnos a una guerra quijotesca contra molinos de vientos, para construir prototipos listos para la comercialización, con una probabilidad muy baja de éxito y con grandes riesgos a nuestra reputación o si seguir como profesores graduando más doctores, publicando más artículos y alimentando nuestro ego con un número creciente de citaciones.

La segunda opción significa nuestra muerte existencial, pero 30 años más de vida para ver crecer a nuestros hijos. Mi intervención aquí es para apoyar la creación de un instituto de energía que permita salvar los proyectos de vida de los mejores investigadores colombianos en energía y al mismo tiempo liberar la energía creativa que traiga el milagro del salto de una sociedad basada en la manufactura y la utilización de sus recursos naturales tradicionales a una sociedad basada en el conocimiento y la utilización de energías limpias.

Permítame ser un poco más específico dividiendo mi intervención en tres grandes áreas: (1) Valor del instituto, (2) Riesgos y (3) Consejos. Como cualquier institución social, un instituto de energía colombiano debe ser capaz de generar valor, seguridad y calidad de vida al país. En un mundo globalizado no basta con tener un experto en un área de conocimiento, sino que se requieren masas críticas con la capacidad de competir con las naciones desarrolladas. Generalmente, esas masas críticas se crean gracias al trabajo de tres o cuatro pioneros que gradaron 10 o 15 doctores en el país, que a su vez viajan por el mundo con estancias postdoctorales y que al regreso al país se concentran en ciertas ciudades o regiones.

Por ejemplo, en ningún lugar de América Latina tenemos tantos doctores en conversión termoquímica como en Medellín. Sin embargo, Medellín no comercializa generadores de vapor, ni gasificadores, ni turbinas de gas. Hoy Colombia tiene masas críticas de investigadores en muchas áreas, pero su impacto económico es bajo. Tenemos que cerrar el ciclo virtuoso que permita que la inversión social en educación, ciencia y tecnología cree

productos y servicios que impacten a la economía y la sociedad. En el caso de la energía, un instituto podría ser el eslabón que nos falta para cerrar este ciclo virtuoso.

Utilizando los hospitales como analogía, un instituto debe ser un lugar donde el investigador traiga al mundo los productos de su proyecto de vida con un mínimo de riesgo. Mientras que las universidades deben crear una cultura que permita la gestación de grandes ideas, los institutos deben ser el lugar donde ejecutar el parto doloroso de equipos y servicios que tendrán que crecer y madurar de la mano de la industria.

Curado de su enfermedad existencial y luego de un parto exitoso, el viejo maestro podrá entonces regresar victorioso a su universidad a transmitir su experiencia a los más jóvenes para que este ciclo virtuoso de creación y materialización de proyectos intelectuales pueda repetirse una vez más. Estos magos modernos deben ser reconocidos como los nuevos héroes, modelos para las futuras generaciones de colombianos.

Los riesgos están siempre asociados a la creencia de que una buena institución y organización social son suficientes para asegurar su éxito. La experiencia nos dice que los grandes proyectos racionales, en los que el individuo es convertido en masa, en un simple ejecutor, siempre terminan produciendo elefantes blancos. Esta institución tiene que ser flexible y estar al servicio de la comunidad científica colombiana. Los proyectos que se presenten al instituto deben tener objetivos claros y alcanzables en plazos no mayores de cinco años. El instituto debe tener un presupuesto permanente para proyectos y el compromiso y apoyo del Gobierno y de la empresa privada.

Me disculpo por no haber sido capaz de identificar modelos de institutos en otros países que me parecieran adecuados a Colombia. Hice parte de mi doctorado en Canmet (Canadá), conozco algo del funcionamiento de CSIRO (Australia) y trabajo muy cerca con PNNL (Estados Unidos). Tengo razones para desaconsejar este tipo de instituciones como modelos para un instituto colombiano de energía. Mi recomendación es evitar puestos permanentes de investigadores asociados al instituto, pues la experiencia mundial muestra cierta tendencia a la fosilización intelectual cuando los investigadores son tratados como obreros asalariados.

Las buenas ideas, como las buenas frutas, tienen un periodo de maduración. La vida de Robert Oppenheimer es un buen modelo: primero, un profesor de Berkeley, que luego dirige el proyecto Manhattan y que termina su carrera en Princeton. No hay mejor lugar para incubar y madurar ideas y para maximizar el impacto social que en las universidades en contacto con los jóvenes. No hay mejor lugar para materializar esas ideas en equipos y servicios que en los institutos en contacto con la industria.

De la misma manera que "la termodinámica" fue desarrollada en el norte de Europa con inviernos muy fríos y largos, que los llevaron a desarrollar sistemas de calefacción, máquinas de vapor, autos, barcos y aviones y los conceptos de calor, trabajo y energía, la ciencia colombiana tiene que inspirarse en su realidad mágica de ciudades rodeadas de montañas urbanizadas, muchos climas, una gran biodiversidad y una cultura mestiza en que la que la vida se manifiesta en toda su riqueza.

El gran reto es avanzar nuestro conocimiento de esta realidad y convertirlas en equipos y servicios. Pienso en las escaleras eléctricas y en los funiculares que se han instalado en Medellín como ejemplos de soluciones locales que solo serían posibles en el contexto latinoamericano. Pienso también en el realismo mágico del Gabo, el gran regalo de la cultura colombiana al mundo, como un ejemplo a seguir.

Colombia tiene industrias muy competitivas que son la base de su economía, pero en las que se ha hecho muy poca innovación. Pienso en la industria del café, el cacao, en sus flores. En el contexto de la energía, me viene a la mente el carbón colombiano que tanto contamina si se quema para generar electricidad, pero que también nos ofrece oportunidades para producir fibras de carbono y materiales para la construcción de baterías y celdas combustibles, que son componentes muy importantes en el desarrollo de energías limpias.

El futuro de la energía va a ser diferente al presente; por lo tanto, he evitado hablar de recursos no renovables y tecnologías del pasado, pues el futuro dependerá de nuestra capacidad de innovar. Hay que liberar la energía creativa de los colombianos con ciclos virtuosos de creación e innovación centrados en el investigador y en sus grandes necesidades existenciales. La magia de la ciencia y la tecnología nacen de la curiosidad individual, de proyectos de vida con motivaciones existenciales únicos e irrepetibles en contextos de gran compromiso social.

Los institutos de ciencia de Colombia tienen que estar centrados en individuos excepcionales a los que la nación les da oportunidades excepcionales y de los que se esperan resultados excepcionales. Hay que incrementar el número de jóvenes de clases populares en las universidades públicas, conscientes de que las duras condiciones en las que muchos de ellos han crecido representan enormes oportunidades para desarrollar profesionales persistentes con un alto nivel de compromiso e impacto social.

A estos jóvenes de carácter hay que darles espacio para que escriban una narrativa científica y humana de la vida colombiana en la que los retos y las carencias que formaron parte de sus experiencias sociales no sean motivos de tristeza, sino que sirvan para enaltecer la grandeza de sus éxitos y aportaciones. Eduquemos a estos jóvenes de las clases populares no para que sean obreros; hay que educarlos para sean los futuros intelectuales de Colombia, los grandes héroes de la narrativa colombiana del futuro. Hay que darles arte, filosofía, historia y, por supuesto, ciencia y tecnología. Los institutos y universidades colombianos tienen que ser los grandes motores, los grandes luchadores por la movilidad social basada en el mérito y el esfuerzo personal. ¡Esos jóvenes pobres, que hoy están cursando estudios doctorales en Colombia o en el extranjero, son el gran tesoro de la nación!

Toda generación debe tener la oportunidad de contribuir a su nación y a su ciudad, y debe poder dejar su huella en la historia. La primera generación de doctores colombianos formó el sistema doctoral del cual estamos muy orgullosos. Con la creación del instituto de energía, permítaseles a los investigadores colombianos de mi generación crear un eslabón necesario para aumentar el impacto económico de la ciencia y de esta manera hacerle un gran regalo al país.

Lo más importante es que estos institutos serán un puerto seguro al que puedan llegar en 25 años, con sus frutos, los jóvenes que hoy reciben sus doctorados en temas de energía y que ya han partido en su largo viaje de exploración intelectual hacia lo desconocido. Es pensando en los sueños de la primera generación de doctores y grandes maestros colombianos, en esos jóvenes curiosos que hoy se encuentran realizando estudios doctorales, en las grandes proezas que realizarán, en las nuevas tecnologías de la energía que crearán y sabiendo de la magia y el enorme poder transformativo de la creatividad humana, que recomiendo avanzar en la formación del instituto colombiano de energía.

Proyectos locales en desarrollo energético. Caso de estudio

Andrés Darío Pantoja Bucheli

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia (sede Manizales), máster en Ingeniería Electrónica y de Computadores de la Universidad de los Andes, doctorado en Ingeniería de la Universidad de los Andes y con estudios de postdoctorado en The Ohio State University. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con ingeniería eléctrica, electrónica e informática.

Quiero agradecer la oportunidad de poder presentar las experiencias de su grupo de investigación, el cual proviene de una universidad pública de provincia, que, como él señala, está en la cola del sistema interconectado nacional, cerca de zonas apartadas no interconectadas, y que resalta el trabajo hecho por otras universidades y manifiesta su deseo de que las sugerencias presentadas sean escuchadas y puedan aportar a la formación de un centro o un instituto de energía incluyente.

Esta intervención se desarrollará en un primer momento presentando la experiencia particular del grupo de investigación en energía eléctrica en proyectos de investigación y desarrollo de energía, para después dar paso a la formulación de sugerencias puntuales respecto al desarrollo energético en las zonas apartadas del país.

El grupo, desde hace siete años, gracias a la UPME, el IPSE y el programa de energías limpias para colombianos, tuvo la oportunidad de ejecutar el Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño (PERS), que le permitió al grupo hacer una caracterización social, económica y energética de las zonas rurales del departamento, trayendo como consecuencia la posibilidad de conocer de primera mano cómo son las condiciones de la ruralidad y de las zonas no interconectadas que carecen de acceso a la energía eléctrica en el departamento de Nariño, y a partir de esto formular algunos proyectos sostenibles; con esta labor, el grupo de investigación se hizo merecedor del premio Ámbar en 2014.

Lo resultados arrojados durante la ejecución del Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño (PERS) permiten afirmar que, a pesar de que existe una cobertura de energía eléctrica de aproximadamente el 86 %, el 3 % de la población no tiene acceso a esa energía, mientras que el porcentaje restante está conectado a redes diésel, por lo que depende mucho de este combustible. Es posible pensar que 3 % es un número muy bajo; sin embargo, esto no es así, ya que ese 3 % se traduce en alrededor de 7400 viviendas sin servicio de energía en este departamento, sin contar con las más de 21.000 viviendas que dependen de plantas diésel.

Los resultados presentados anteriormente amplían el panorama y brindan una perspectiva totalmente distinta de la cobertura en el departamento, que era totalmente desconocida para el departamento mismo y más para Bogotá como capital y centro administrativo del país, lo cual pone de manifiesto la necesidad de tener en cuenta a las regiones.

Ahora bien: gracias al trabajo y a los resultados obtenidos en esta experiencia, fue posible formular el proyecto denominado Alternar, que fue aprobado en 2014 y que se ejecutó de manera conjunta con la Universidad de los Andes y una empresa local de distribución de energía, y ganó el premio Ámbar 2016. Para este proyecto se realizó una caracterización detallada de los recursos (solar, de biomasa, viento e hídrico de bajo caudal) con los que cuenta el departamento. Gracias a la gestión de los recursos se pudieron instalar varios laboratorios en la Universidad de Nariño, con el fin de crear una microrred que sirva para hacer experimentos y formar personas.

Asimismo, el proyecto Alternar y la instalación de los laboratorios le permitió al grupo postularse al proyecto llamado Pacífico para Energía, el cual fue bastante interesante, ya que fueron las comunidades las que presentaron los problemas, y las universidades, entidades y empresas formulaban las soluciones. En 2015 el grupo tuvo que instalar sistemas fotovoltaicos en escuelas de tres regiones bastante distantes de la geografía colombiana, así:

- En el Pacífico

- En la selva agua, a la que se llega caminando 8 horas
- En la frontera con el Cauca, una zona con bastantes alteraciones de orden público

En todo caso, fue posible llegar e instalar los sistemas fotovoltaicos, y lo más interesante fue lograr la apropiación social del conocimiento por medio de la formación a los habitantes de la zona, ya que de otra forma este proyecto no sería sostenible.

Posteriormente, con el apoyo de cooperación internacional y la USAID, el grupo de investigación propuso un sistema prototipo de bicicletas eléctricas, que se instaló en el campus de la Universidad de Nariño, donde se ha ido mejorando la idea, extendiéndola a otras universidades y aprovechando las ciclorrutas de Pasto. Este proyecto se denomina Proyecto Ciudad Energética y cuenta con el apoyo de la cooperación suiza desde 2019.

Actualmente, el grupo se dedica a integrar todos estos sistemas (microrred en la universidad, sistema de bicicletas eléctricas) en un sistema de información completo, con el fin de que esto se expanda a Pasto, y a su vez vincular a la Universidad del Valle para que preste su apoyo a un estudio sobre la forma en que se daría la transición hacia los vehículos eléctricos en el sistema de transporte público en Pasto, con el fin de continuar desarrollando más proyectos y mejorar aquellos que ya están en ejecución.

En función de lo planteado, es posible afirmar que el desarrollo de capacidades tecnológicas y de talento humano es un proceso de esfuerzo y compromiso, del cual este grupo es un ejemplo de éxito. Sin embargo, no hay muchas universidades de provincia que puedan decir lo mismo, por lo que es necesario apoyarlas. Del mismo modo, es vital realizar alianzas con entidades reconocidas o con universidades de alta experiencia, complementando esto con formación de alto nivel en investigación en las regiones. En este sentido, la Universidad de Nariño inició con programas de pregrado y en la actualidad cuenta con un programa de maestría, en el que una de las líneas de investigación está dedicada a la energía.

Por otra parte, como dificultades se presenta el hecho de que la inversión es restringida en los proyectos de inversión y desarrollo, ya que en ocasiones el grupo ha aplicado a una convocatoria y como respuesta recibe que este no es un proyecto de ciencia y tecnología porque tiene una implementación, o que al querer aplicar la implementación responden señalando que no es posible contratar estudiantes, por lo que esa dicotomía entre implementar o educar debe romperse; del mismo modo, la centralización es un problema que está sucediendo, ya que se desconocen los aportes regionales, y el escaso apoyo de los gobiernos locales ha sido también un fuerte impedimento.

Finalmente, se presentan las recomendaciones y las oportunidades que ve el grupo en un centro. Un instituto debe contar con el apoyo de la academia, la industria y el Gobierno. Por ejemplo, con el IPSE no se ha logrado implementar un convenio a pesar de que se viene trabajando en ello desde hace 20 años, pero ojalá esta sea una oportunidad para lograrlo y materializarlo. Por otra parte, a pesar de que es necesaria una guía central y experta, también se requiere cierto nivel de descentralización, mientras que para las regiones se presenta la oportunidad para conocer, caracterizar y fortalecer su talento humano, promover las alianzas que jalonen, ayuden y muestren algo de interés. Para esto es posible arrancar con proyectos que tengan posibilidad de desarrollo tecnológico y no solamente de electrificación; unos pilotos funcionales en zonas apartadas con desarrollo tecnológico también podrían funcionar.

SEXTA PARTE
CONCLUSIONES DE LA AUDIENCIA PÚBLICA "SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA"

Panel de cierre
AUDIENCIA PÚBLICA "SEGURIDAD ENERGÉTICA PARA COLOMBIA"

Iván Darío Agudelo Zapata
Amylkar David Acosta Medina
Ángela Inés Cadena Monroy
Juan Benavides Estévez

Presentación del ejercicio de síntesis y conclusiones, a cargo del senador de la República Iván Darío Agudelo Zapata

Este trabajo de compilación de las intervenciones realizadas en la audiencia pública "Seguridad energética para Colombia" ha permitido recoger el aporte que desde diversas miradas, experiencias y trayectorias han realizado conferencistas nacionales e internacionales de primer nivel.

La idea fundamental es que, con una política pública en ciencia, tecnología e innovación, se puedan construir bienes públicos esenciales. Como senador de la República y como servidor público, siempre he querido que esa sea nuestra motivación. Se trata, en últimas, de permitir que algo tan inspirador como el futuro de nuestros hijos en esta nación que hemos construido para ellos sea algo más grande de lo que nosotros tuvimos.

Y para esto, requerimos de la voluntad y de la acción de todos los actores, sin importar sus posiciones políticas o ideológicas, en aras de encontrar puntos en común, puntos de unión, que nos permitan construir desde la diferencia y avanzar en lo que nos identifica, para poder avanzar como sociedad.

Este documento, que queda para la consulta de todos los colombianos, es un ejemplo de este esfuerzo. Tradicionalmente, la política y el mundo académico no logran encontrar puntos en común, debido a la desconfianza mutua y el apego a preconcepciones, como lo mencionaba el secretario general del Senado y director de CAEL, doctor Gregorio Eljach Pacheco.

Hoy, en el escenario más político con el que puede contar una democracia, como es el Congreso de la República, se dieron cita por segunda vez grandes académicos, profesores, investigadores y expertos buscando precisamente encontrar los puentes con el mundo político para encontrar la manera de asegurar que en el mediano plazo Colombia sea un país autónomo en términos energéticos, y a la vez sostenible en su modelo de desarrollo. Este esfuerzo es realmente un motivo de gran satisfacción.

Las conclusiones que a continuación se presentan fueron desarrolladas por los panelistas Juan Benavides Estévez-Bretón, Ángela Inés Cadena Monroy y Amylkar David Acosta Medina, quienes generosamente estuvieron durante toda la audiencia y lograron sintetizar los aportes de los demás conferencistas en una larga jornada de trabajo que duró casi diez horas.

A continuación, cada una de las conclusiones presentadas.

Síntesis y propuestas presentadas por Ángela Inés Cadena

Esta audiencia ha logrado una convocatoria amplia. Hay temas que se tendrán que analizar, pero creo que la justificación que se quería, es decir, la recopilación de insumos para la exposición de motivos, podrá ser resumida y puntualizada fácilmente. Se plantearon temas diversos.

Todavía veo esas tensiones entre mirar el corto plazo y el largo plazo, entre los energéticos convencionales y los no convencionales, entre lo que es hacer ciencia y tecnología para un sector energético y lo que es hacer política energética. No es que sean disímiles, sino que, por el contrario, se complementan, pero todo eso habría que pensarlo en la exposición de motivos para decidir en qué consistirá esta iniciativa de constituir un centro de energía.

De todos los temas hay trabajos de investigación, como lo habíamos discutido, y hay grupos que permanecen y que tienen continuidad a pesar de las dificultades y de los presupuestos no continuados, ni abultados, pero creo que es una comunidad que se ha mantenido, está sólida y deseosa de aportar; con base en ello se puede construir.

Felizmente, la Misión de Sabios hizo una propuesta que se puede desagregar un poco más en mayores temas. Esta propuesta concreta es: uno, trabajar en equipamiento hacia la digitalización de la energía e incluso a la integración de fuentes no convencionales y de recursos descentralizados; otra es el uso de la biomasa y su aplicación en particular, y aquí se plantean temas de combustión que son conexos; y, finalmente, constituir laboratorios de ciudades. No obstante, creo que se puede enmarcar mucho de lo que estamos hablando de desarrollos urbanos descentralizados, pues no hay que olvidar el tema de la aplicación de todas estas tecnologías al sector rural, y cómo eso conecta con su iniciativa de seguridad alimentaria, la cual fue resaltada en muchas de las presentaciones. Considero que con esos temas se pueden empezar a pensar.

En cuanto a la iniciativa de creación de un instituto de energía, se establecieron tres posiciones: la primera propone que el centro o el instituto sea abierto, que convoque a todas las capacidades nacionales para trabajar y que ojalá la coordinación se alinee para que haya masa crítica y produzcamos resultados de corto plazo; en la otra, se propone la idea del instituto tradicional, con la que algunos ponentes internacionales estaban de acuerdo, y muchos recomendaron ver la estructura de los *fraunhofer*, asunto que habría que mirar, aunque considero que ya ha sido revisada por la Misión de Sabios; y la tercera corresponde a una presentación de un profesor inglés, que nos pregunta si realmente se necesitaría algo como un centro para coordinar estas alternativas.

En resumen, considero que han quedado establecido los elementos y debemos trabajar más de lo que ya hemos trabajado, para que usted, senador, pueda presentar su propuesta en julio; creo que la gente que participó, y que todavía está presente, tendrá toda la disponibilidad de colaborar.

Síntesis y propuestas presentadas por Juan Benavides Estévez

Respecto al centro, creo que es importante que no pertenezca a una universidad en particular, lo cual es una pelea interminable y terrible. En Colombia hay seis o siete universidades que podrían trabajar perfectamente con una red virtual sin un espacio físico para avanzar en este proyecto.

El método *fraunhofer* nos parece bastante útil, porque es una especie de alianza público-privada que en Alemania funciona con 70 % de fondos privados y 30 % públicos. En Colombia podría ser al revés inicialmente, pero, debido al estado inicial y preliminar de la investigación en que se encuentra el país, tendría que contar con dos grupos de tareas: unas de muy corto plazo y con impacto importante sobre la sociedad, que podrían implementarse a través de retos, como la cobertura universal, si es que fuera necesario el diseño de minirredes, o el diseño de un medidor inteligente que sea capaz de soportar las condiciones difíciles del ambiente en lugares como el Chocó (humedad, presencia de insectos, hongos, etc.), para poder resolver problemas tangibles e inmediatos.

Por otra parte, una segunda línea de trabajo, en la cual hay unas apuestas de largo plazo importantes si queremos atraer talento internacional para que trabaje con nosotros, incluso viniendo o no al país. Para ello se necesita una financiación estable por cinco años como mínimo, porque no podemos traer a estas personas con proyectos cortos, de pocos meses.

Debo recalcar que hay que combinar esas visiones de solución de problemas inmediatos, es decir, de corto y de largo plazo, y que los fondos destinados a su desarrollo se otorguen de manera competitiva y transparente por jueces, ojalá internacionales. La sociedad va a tener puesta su mirada encima de estos centros y tenemos que darles resultados tangibles y útiles.

En Estados Unidos y en otras partes del mundo se han hecho estudios que muestran que la sociedad estaría dispuesta a pagar hasta un 7 % más de impuestos si se pudieran evitar choques a la economía superiores al 15 % en pérdida de activos por un año, de manera permanente incluso con probabilidades de catástrofe de 2 % anualizado. Eso no representa mucho económicamente. Por tanto, si uno pelea para que de ese 7 % de impuestos adicionales que la gente debería pagar por protegerse contra todo tipo de catástrofes naturales y de eventos de este estilo se pidiese solo 1 %, podríamos lograr una sociedad mucho más transformadora, resiliente y antifrágil; sin duda, esto representa una gran oportunidad.

Bienvenida la idea de impulsar este centro; esas son las opiniones que quería compartirles.

Síntesis y propuestas presentadas por Amylkar David Acosta Medina

Muchas gracias. Primero que todo quiero reiterar las felicitaciones al senador Iván Darío por esta iniciativa y por la capacidad de convocatoria que ha tenido esta audiencia. A continuación, voy a presentar unas conclusiones que me he permitido hacer a manera de relatoría.

En primer lugar, la importancia de la integralidad en el abordaje del sector y de la seguridad energética, tomando en consideración todas las fuentes primarias y secundarias de energía. Se requiere tener una visión holística partiendo de la premisa de su interés estratégico nacional.

En el corto plazo, Colombia debe hacer un gran esfuerzo tendiente a frenar la caída de las reservas de petróleo y gas, que ponen en riesgo su autoabastecimiento, pero debe ser consciente, como lo dijo Christina Figueres, la exsecretaria de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, de que a la industria petrolera le llegó la hora de reconocer que es una actividad que tuvo su apogeo, pero hoy ya está en su ocaso; es decir, tenemos que buscarle alternativas, pero de manera prudente.

La electricidad en Colombia apenas participa con el 17 % de la matriz energética. Por ello, es prioritaria la electrificación de la economía sobre todo en el transporte y la industria, pero hay que promover el ahorro y la eficiencia tanto en la generación como en el transporte, la distribución y en el uso de la energía, incentivando la modernización y la reconversión tecnológica de equipos y electrodomésticos.

Colombia cuenta con una arquitectura energética de clase mundial, con un gran reconocimiento y un sistema regulatorio maduro. Por este motivo, se debe preservar la institucionalidad, pero sin caer en la autocomplacencia. Ha llegado la hora de salir de la zona de confort y prepararse para los cambios disruptivos propios de la transición energética. Es clave la modernización del sector energético, lo cual pasa por la digitalización, la inteligencia artificial y la *big data* de la operación y los procesos, teniendo al usuario y al consumidor en el centro.

La transición energética se deberá traducir en una mayor diversificación de la matriz energética integrando a esta las fuentes no convencionales de energías renovables para la producción de los biocombustibles y para la generación de electricidad.

Las fuentes no convencionales de energías renovables no deben considerarse como sustitutos, es decir, no están llamadas a reemplazar, sino a complementar las fuentes convencionales, de tal suerte que las fuentes no convencionales de energías renovables sirvan de respaldo a las fuentes convencionales y estas a aquellas. De esta manera se tendrá una matriz más robusta, más confiable y más resiliente frente al cambio climático.

Se debe acoger la iniciativa de la Misión de Sabios de crear un instituto nacional de energía que sea liviano en su estructura e integración, abierto, incluyente, con participación de las empresas, el Estado y la academia, y que sirva de integrador, articulador y de masa crítica del sector energético. Este instituto debe integrarse con sus pares en Latinoamérica y tener un enfoque regional y diferenciado. Su financiación debe tener como fuente recursos públicos, provenientes tanto del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema de Regalías, como también de la empresa privada; la experiencia de Brasil puede servir de referente.

Se requiere, además, que la seguridad energética se asuma como una política de Estado y no como política de Gobierno. Utilizando las palabras de Ángela, debe ser agresiva y continuada.

Para finalizar, les digo que el sector energético está llamado a servir de dinamizador y de apalancamiento de la reactivación económica en la pospandemia, y con tal fin debe acompasar el programa de vivienda que va a emprender el Gobierno nacional con soluciones energéticas renovables. Esta fue una propuesta planteada por el exministro Mauricio Cárdenas, y el Gobierno debe condicionar sus ayudas y apoyos a la empresa privada al compromiso de estas con los programas de transición energética.

Conclusiones presentadas por el senador Iván Darío Agudelo Zapata

Debo empezar reconociendo el trabajo de todo el equipo que hizo posible este gran evento: el equipo del Canal Congreso de la República, el equipo de la Secretaría General del Senado, CAEL, los técnicos y demás personas que han participado en este evento. Igualmente, a la Academia de Ciencias, con nuestro presidente Enrique Forero y su vicepresidente Horacio Torres. Además, lo que han hecho nuestros intérpretes, que garantizaron que el idioma no fuese una barrera para construir conocimientos. Un reconocimiento especial al señor presidente del Senado de la República, Lidio García, quien ha brindado todo su apoyo de forma irrestricta con esta iniciativa; para ellos, mi admiración y gratitud eterna.

Asimismo, quiero presentar un agradecimiento muy especial a todos los expertos e investigadores que nos acompañaron durante esta gran jornada. Es un honor haber podido contar con participantes de ocho países: Brasil, Bélgica, Reino Unido, Japón, Corea del Sur, Estados Unidos, Chile, España y, por supuesto, Colombia, con tres exministros de Minas y también uno de Hacienda, además de nuestra actual ministra de Minas y Energía y su viceministro.

También destaco las más de veinte intervenciones de docentes de diferentes universidades, que han ayudado a materializar nuestra propuesta de academizar la política, y no politizar la academia.

Además, logramos sumar importantes empresas del sector energético, como EPM y Ecopetrol en lo público, y parte de las agremiaciones importante del sector, tales como Naturgás, ENEL, Acolgen, Andeg, entre otras. Todo ello se ha articulado mediante una forma muy clara, con la colaboración del Gobierno nacional, y adicionalmente con las intervenciones de nuestro director de Planeación Nacional, así como de los directivos de la UPME y la CREG. También debo exaltar la presencia activa de expertos de instituciones de energía públicas y privadas, lo cual permitió que este evento haya podido tener una mirada integral sobre cómo debemos afrontar la nueva realidad de Colombia.

Hubo un total de 59 intervenciones, que confirmaron que podemos lograr consensos sobre lo esencial. Los profundos análisis que se han presentado el día de hoy nos han mostrado no solamente el panorama complejo que afronta todo el mundo en la producción de energía, sino que nos han planteado las iniciativas que pueden ayudarnos a transitar el camino de construcción de una nueva política pública de ciencia, tecnología e innovación orientada a producir un bien público esencial como la energía. Para todo ello se ha partido de reconocer las limitaciones y las dinámicas actuales de consumo, que son preocupantes, pues, como lo ha indicado nuestro exministro Amylkar Acosta, "la industria en Colombia depende en un 80 % de las energías de origen fósil supremamente contaminante", concluyendo, además, de forma enfática, que "el reto es electrificar la economía" y que debemos pensar seriamente cómo hacerlo.

Esta audiencia pública nos ha mostrado el camino a recorrer: contar con un gran instituto de energía abierto a todos los sectores, que sea participativo y pluralista como nuestro Estado, y en el que confluyan todas las iniciativas que, desde la academia, el sector privado y el sector público, produzca y logre construir un gran sistema interconectado a nivel nacional. Sin duda, somos un país lleno de riquezas, como han reconocido muchos de los intervinientes nacionales e internacionales, pero debemos sumar y no restar, multiplicar y no dividir. De esta forma, con un esfuerzo colaborativo saldremos mejor preparados de esta crisis para hacer frente a una nueva realidad.

Un elemento fundamental, en el que también existe amplia coincidencia hoy, es la necesidad de fortalecer las universidades. La educación es fundamental, y yo siempre he creído en la magia y el poder transformador de la educación, pero para ello, como lo planteó el profesor Kiyoharu Tadanaga, es importante brindar un apoyo fuerte a las investigaciones, a los investigadores y a los estudiantes.

Crear ese gran instituto de energía no solo es necesario para democratizar la producción de energía, como lo planteó Jairo Espinoza, sino que logrará salvar los proyectos de vida de los mejores investigadores colombianos en energía, como lo explicó de forma magistral Manuel García Pérez.

Pudiéramos seguir hablando todos los aportes desde la Misión de Sabios, recalcando la gran cantidad de aprendizajes que nos llevamos de cada una de las intervenciones, pero quiero concluir sosteniendo que el compromiso después de esta audiencia es mayor, porque todo este conocimiento debe concretarse en el proyecto de ley que logre dar vida a este sueño de país y de la Misión de Sabios para construir una gran nación, autosuficiente energéticamente y responsable con el medio ambiente.

Conclusiones. Hacia la seguridad energética para Colombia en el marco de la propuesta "Hacia una suficiencia farmacológica, alimentaria y energética", liderada por el senador Iván Darío Agudelo Zapata[29]

Ángela Inés Cadena Monroy

Ingeniera electricista de la Universidad de los Andes, magíster en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de los Andes y doctora en Ciencias Económicas y Sociales de la Université de Genève. Se desempeña como docente e investigadora asociada al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de los Andes. Ha estado al frente de diversos proyectos relacionados con energía, ambiente y economía.

[29] El resumen se apoya fuertemente en los documentos consultados. La responsabilidad de lo consignado es enteramente mía (Ángela Inés Cadena).

El senador Iván Darío Agudelo señala que "el reto de enfrentar el covid-19 revela la escasa preparación de la capacidad productiva nacional para asegurar el mínimo vital de toda la población" y ve necesario que el país cuente con "alternativas de producción locales menos expuestas a riesgos y a las imposiciones del mercado". Para esto propone "implementar una política pública de ciencia, tecnología e innovación" para garantizar la suficiencia farmacológica (y biotecnológica para la salud, añade Waserman, 2020), la seguridad alimentaria y la sostenibilidad energética.

En este documento se resumen los objetivos de largo plazo señalados en el Plan Energético Nacional (UPME, 2020), las prioridades de investigación identificadas en el campo energético por la Misión de Sabios recientemente y por Colciencias en su Plan de Ciencia y Tecnología en Energía y Minería, así como las capacidades de los grupos de investigación y actividades que adelantan algunos de ellos.

La revisión indica que el país ha identificado acciones claras en materia energética y ha venido trabajando para alcanzar los objetivos planteados en los diferentes planes con el respaldo de una capacidad científica, tecnológica y de ingeniería. Los aportes de esta capacidad pueden indudablemente acelerarse y potenciarse con el respaldo de los doctorados nacionales con el fin de tener "un país mejor preparado para la producción de bienes básicos para hacer frente a futuras amenazas y reactivar nuestra economía con la oferta de empleabilidad que podría generar", y contar con un suministro suficiente, confiable y limpio de energía y prácticas de buena gestión y uso de esta, como propone el senador Agudelo. Para terminar, se proponen algunos programas que podrían generarse de manera coordinada con el Gobierno y la industria para que la academia pueda aportar en la reactivación de la economía, la generación de ingresos y empleos y la producción de conocimientos para una energía sostenible. En esta versión se sugieren unos títulos para los aportes de todos.

La seguridad energética está definida como la gestión eficaz del suministro energético primario proveniente preferiblemente de fuentes nacionales o, en su defecto, de internacionales, la integridad de la infraestructura energética y la capacidad de satisfacer la demanda actual y futura por parte de los proveedores de energía. Esta es una de las tres dimensiones que hacen parte del trilema de la sostenibilidad energética definido por el Consejo Mundial de Energía (WEC[30]), siendo las otras dos la equidad energética y la sostenibilidad ambiental.

Los objetivos del Plan Energético Nacional (UPME, 2020)

Como se señala en el documento que fue sometido a consulta en enero de este año (UPME, 2020), y en revisión actualmente, el Plan Energético Nacional (PEN) busca satisfacer los requerimientos energéticos del país en el marco de la transformación energética global, "marcada por una mayor sensibilidad con el medio ambiente, por la irrupción de nuevas demandas provenientes de comunidades, por mayores niveles de crecimiento económico, por el desarrollo tecnológico y por los compromisos de mitigar los impactos del cambio climático".

Ven para Colombia una redefinición de los sistemas energéticos con el incremento de nuevas fuentes renovables y de menor intensidad de carbono, la electrificación de la economía y la sociedad aprovechando las ventajas en diversidad y capacidad de la industria, la incorporación de tecnologías y procesos más eficientes para la provisión de servicios y mejores prácticas de eficiencia y ahorro energético.

[30] World Energy Council (WEC): https://trilemma.worldenergy.org/

Los objetivos propuestos para lograr un abastecimiento pleno y confiable con menores impactos ambientales, inducir el uso de mejores tecnologías y prácticas y disminuir la pobreza energética para lograr una mayor equidad social y mejor bienestar son[31]:

Objetivo 1. Seguridad de suministro energético y diversificación de la matriz energética. Las señales adecuadas para la expansión coordinada de las distintas cadenas energéticas que garanticen el suministro energético confiable y el incremento de la disponibilidad y diversidad, unido al desarrollo de estrategias de carácter subsectorial con la identificación de requerimientos de infraestructura, son fundamentales para materializar este objetivo.

Objetivo 2. Energía, eje de desarrollo económico y prosperidad. Se reconoce que la energía tiene un papel protagónico para sustentar el desarrollo económico y social, en su doble condición de bien estratégico que permite servir de insumo y convertirse en capital que soporta procesos industriales, o bien como servicio público que brinda bienestar social. Asimismo, al ser el motor de desarrollo y de gran aporte al equilibrio macroeconómico del país, es preciso potenciar su competitividad, con mayor productividad y eficiencia, impulsando oportunidades de diversificación de la economía a partir de los recursos energéticos, en procura de una sociedad dinámica e incluyente.

Objetivo 3. Gestión ambiental del sector energético. El desarrollo de actividades propias de las cadenas energéticas, como producción, transporte, transformación y consumo de energía, provocan efectos adversos que deterioran el medio ambiente, por lo que es imperativo disminuir y gestionar bien la incidencia negativa en el agua, el suelo, la biodiversidad y sus servicios, el aire y el calentamiento global.

Objetivo 4. Aseguramiento de cobertura a servicios y productos energéticos con inclusividad y desarrollo territorial. El mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos a lo largo del tiempo es uno de los propósitos de la política pública. La disponibilidad de energía para cobertura de requerimientos básicos tiene un impacto directo sobre la salud, la educación, las oportunidades de empleo, la transformación demográfica, la contaminación y la promoción de la equidad de género, entre otros. Garantizar el acceso a servicios energéticos a precios asequibles no solo promoverá el bienestar y la cohesión social, sino que facilitará el progreso económico nacional y territorial para la reducción de la pobreza, con emprendimiento, creatividad e innovación que posibiliten la producción y el consumo eficiente de los recursos.

Objetivo 5. Eficiencia energética. Es considerada uno de los pilares fundamentales de un sistema energético global sostenible, pues permite asegurar el abastecimiento energético y contribuir de manera costo efectiva a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este objetivo se sustenta en la adopción de nuevas tecnologías (de uso, medición y análisis), buenas prácticas operacionales y hábitos para optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles, reduciendo costos, aumentando productividad y competitividad y mejorando calidad de vida de los colombianos.

Objetivo 6. Integración energética regional. El fortalecimiento de la confiabilidad en el abastecimiento energético puede lograrse mediante procesos de integración con otros países cuando las posibilidades con fuentes nacionales se ven disminuidas. Igualmente, favorece el suministro energético de zonas de frontera, entre otros aspectos, aprovechando así fortalezas y opciones de complementación, pero con total respeto de los principios de

[31] Resumido del documento "UPME, 2020", puesto a consulta en enero de 2020.

soberanía e independencia. Es necesario desarrollar mercados y fomentar acuerdos regionales mediante avances regulatorios que beneficien a los países participantes.

Objetivo 7. Entorno habilitante para la implementación del PEN 2020-2050. Un marco institucional que combine la acción pública y privada con las facultades y recursos necesarios es clave para la consolidación de un desarrollo energético sostenible a través de la implementación de políticas, planes, programas y proyectos en los dominios económico, energético, social y ambiental. Hay que promover una cultura y una capacidad sensibles a prácticas en la producción, la transformación y el consumo de bienes y servicios de energía que, mediante la acción transformadora, permita a países y regiones enfrentar los retos que demanda el cambio climático y el cumplimiento de metas establecidas en acuerdos supranacionales.

Los planteamientos y propuestas de la Misión de Sabios (Vicepresidencia de la República, 2020)[32]

La Presidencia de la República convocó la Misión de Sabios en febrero de 2019. El grupo de expertos nacionales e internacionales que la conformaron hace un llamado al Gobierno nacional, a las regiones y a la sociedad colombiana a hacer mayores y mejores esfuerzos para fortalecer las ciencias, las artes y la educación como base para el desarrollo de tecnología y procesos continuados de innovación y de diseño que redunden en la mejora sostenida de la productividad y su competitividad nacional. Identifican esfuerzos para aumentar los recursos destinados a la ciencia y la tecnología mediante la contratación de créditos y la reorientación de presupuestos y propuestas de actos legislativos reformatorios de la Constitución, para que las regiones destinen el 25 % de las regalías a la educación de la primera infancia, la creación de centros regionales de innovación y el impulso a la investigación y a las redes de centros comunitarios de innovación. Como instrumentos para evitar la atomización de recursos, se propone la realización de misiones específicas sobre temas transversales y la conformación de centros de investigación.

Este grupo propone cinco misiones que deben combinar la investigación, los procesos innovadores y la creación con el fin de transformar los procesos productivos y la vida de las ciudades y de las comunidades. Los temas o problemáticas seleccionadas son: (i) agua y cambio climático, (ii) aprovechamiento de recursos y de la diversidad biológica y cultural, (iii) desarrollo de industrias verdes mediante el aprovechamiento de nuevos materiales, energías renovables y tecnologías convergentes, (iv) políticas sociales que incorporen conocimiento interdisciplinar en el diseño de soluciones adaptadas a cada contexto y región y que favorezcan la equidad y la inclusión, y (v) educación de calidad para disminuir las brechas y tener un país que progresa gracias al conocimiento y el trabajo de su población.

Por otro lado, se conciben los centros de investigación como un vehículo neutral (independientes de las universidades y de los industriales), regidos por derecho privado, con altas habilidades de facilitación de acuerdos entre las partes y capacidad de comercialización, los cuales deberían propiciar la gestión de la innovación acumulativa. Se busca generar economías de escala, alcance y aglomeración para la transferencia tecnológica, con ventajas sobre las iniciativas bilaterales entre investigadores e industrias particulares. Se sugiere que estos centros estén ubicados en diferentes regiones de Colombia según sea su vocación de desarrollo.

Aspiran a que se aumente el presupuesto de inversión en ciencia, tecnología e innovación (CTI), pasando de 0,25 % a 1,5 % del PIB anual, lo que equivale a 16 billones de pesos

[32] Tomado de los documentos de la Misión de Sabios.

anuales. Este monto requiere incrementos sustanciales de la inversión pública, participación privada y capacidad para diseñar instrumentos financieros atractivos. Esta inversión debe servir para aumentar la productividad de la economía a través de cuatro programas: investigación de excelencia, colaboración entre industria e investigadores y transferencia de tecnología (misiones + centros), innovación por I+D empresarial y adopción y emprendimientos innovadores *startups* no basados en I+D. Bajo ciertos supuestos, esperan que un incremento del 20 % de la inversión en I+D aumente el PIB en 1,12 % con un rezago de cinco años, lo que exige un "capital paciente".

Uno de los focos de la Misión de Sabios fue el de energía sostenible. Como dice el documento de la Misión (VP, 2020, p. 74), la transición energética a fuentes renovables y no contaminantes es un proceso en marcha en el mundo y en el país. De la rapidez y la efectividad con que se haga puede depender la supervivencia de la especie. Colombia tiene una ventaja comparativa grande para el posible acceso a fuentes alternas, como sol, viento y biomasa, pero esas fuentes no se pueden hacer realidad sin una masiva inversión en adquisición de conocimiento (VP, 2020, p. 74).

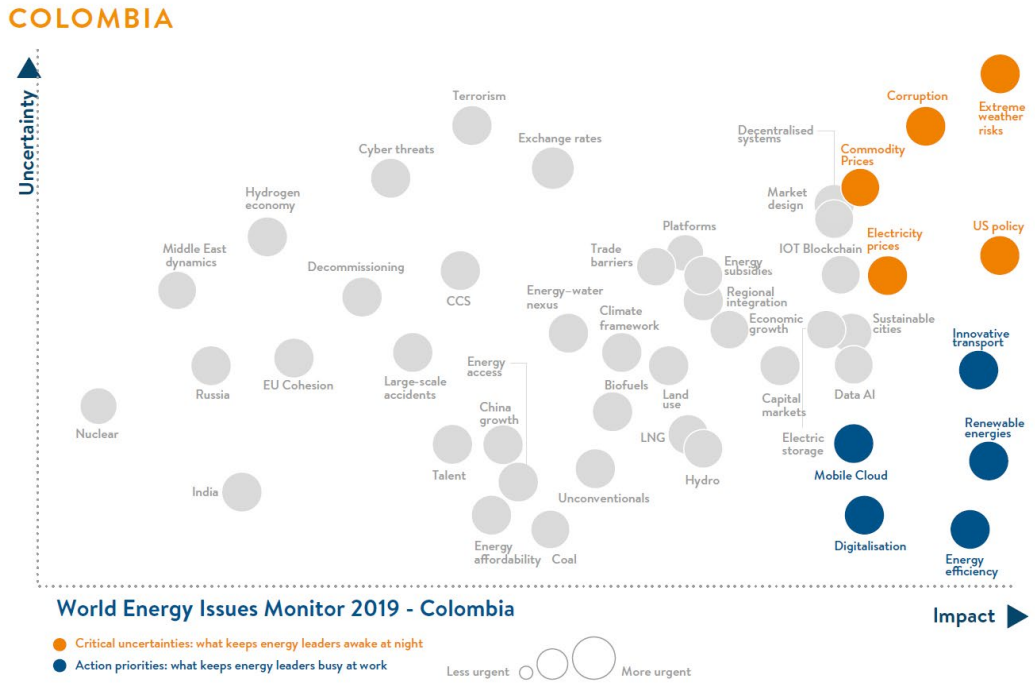
Este foco revisó el estado de las tecnologías que compiten por el liderazgo en el abastecimiento energético internacional con soluciones cada vez más limpias y económicas. A partir de consultas con expertos, identifican dos tendencias claras de mediano plazo: (i) la convergencia entre digitalización, electrificación y descentralización y (ii) la reducción del uso de carbón que no combine tecnologías supercríticas y secuestro y captura del CO_2, dado el *trade-off* de los recursos primarios en cuanto a costo, continuidad, densidad, contaminación y disponibilidad local. Señalan que en el futuro los sistemas centralizados y descentralizados deben convivir bajo arquitecturas de mercado alternativas, pues, por lo pronto, no hay externalidades de red similares a las de las telecomunicaciones que generen convergencia rápida y única a la electricidad, así como las hubo en la migración de la telefonía fija a la móvil.

Después de analizar la situación energética en el país y los retos para la acción de la CTI, los expertos identifican las barreras y oportunidades que se presentan a continuación.

	Barreras	**Oportunidades**
Fuentes de pago e instrumentos de financiación	• No hay gestión pública proactiva para aumentar fuentes ni innovar en instrumentos para agregar recursos • Las empresas reguladas de energía invierten poco en CTI	• Apoyo público a ciencia básica, cofinanciación de aplicaciones y emprendimiento • % de ingreso corporativo gravable para CTI
Organización industrial	• Sector oligopólico con escasa velocidad de adopción de tecnologías	• Fomento de entrada de nuevos negocios y empoderamiento a prosumidores con reglas de acceso abierto y no discriminatorio de redes
Regulación	• Regulación energética compleja, rezagada y conservadora • Altos costos de transacción para financiar, desarrollar	• Regulación experimental (*sandboxing*) y favorable a innovación • Simplificación de procesos públicos y

	nuevos negocios y proyectos CTI	supervisión *ex post* en proyectos CTI
Institucionales	• Falta de coordinación entre subsectores energéticos • Dispersión de fondos públicos en iniciativas del interés de los investigadores	• Política energética de portafolio; planeación integrada de recursos • Financiación de CTI por misiones
Capacidades	• Escasez de talento para aprovechar cambio tecnológico y desarrollar negocios • Gobernanza inadecuada para la interacción entre talento y generación de conocimiento útil	• Doctorados nacionales • Centro para la transición energética, que sirva de enlace entre universidades e industria
Sociales y culturales	• Desconocimiento del cambio tecnológico acelerado en energía y su impacto • Diseños urbanos e industriales deficitarios en circularidad y eficiencia	• Apropiación social de CTI, reconocimiento de líderes tecnológicos • Cambios de normas urbanísticas y estándares, con diálogo y apoyo público en ciudades inteligentes

Se propone la creación de un **centro para la transición energética** que desarrolle proyectos alineados con los objetivos de política de CTI en los temas tales como: (i) apoyo a la creación de una industria electrónica y digital de paneles solares de última generación,



instrumentación y control para redes inteligentes y microrredes, y eficiencia energética; (ii) apoyo a la creación de una industria de biorrefinerías para el aprovechamiento de la biomasa; y (iii) un laboratorio de ciudades inteligentes y simulación para apoyar la implantación de soluciones tales como transporte eléctrico, eficiencia energética y edificios, acompañados de una componente de cambio cultural, según lo identificado por el World Energy Council para Colombia, como se muestra en la siguiente figura (ver círculos en azul)[33] (WEC, 2019).

Este centro deberá adelantar estudios y vigilancia tecnológica en todas las tecnologías candidatas a conformar la canasta energética del país, incluyendo las que por lo pronto están en etapas previas a la comercialización (tales como la fusión nuclear y el hidrógeno) y las que son polémicas (como los hidrocarburos no convencionales y la energía nuclear de fisión).

Se estima que el centro requeriría una inversión inicial de USD 20 millones en laboratorios de prototipado y facilidades computacionales avanzadas, y tendría unos gastos operaciones anuales entre USD 5 y 7 millones para cubrir el salario de quince investigadores de alto nivel de tiempo completo, sus asistentes y las actividades de I+D. Con este presupuesto, se tendrían prototipos avanzados en cuatro años, con un TRL cercano a 9 que apoyarían el despliegue de las industrias propuestas y la transferencia tecnológica, y garantizaría la autosuficiencia en tecnología energética; estos laboratorios se convertirían en referente técnico a nivel latinoamericano. Parte de esta financiación podría provenir de los recursos del impuesto al carbono.

Como se mencionó, el centro podría tener una estructura descentralizada en varias ciudades del país, acorde a su vocación de desarrollo, por ejemplo: eólica y solar en La Guajira, tecnologías limpias de uso de recursos fósiles en Boyacá y Santander, picocentrales y desarrollo tecnológico en Antioquia, etc., y debería tener una estrecha relación con otros centros existentes, como el ICP en hidrocarburos y el CDT del Gas.

En los temas de política y regulación, recomiendan migrar hacia la planificación integrada de recursos para balancear riesgos y costos de abastecimiento, promover soluciones cada vez más limpias y económicas y promover la competencia a la entrada y dentro de los mercados de electricidad y de hidrocarburos. La regulación deberá promover la experimentación del tipo cajas de arena (*sandboxing*) en nuevos modelos de negocio y de nuevas arquitecturas de mercados energéticos. Esta recomendación fue acogida por la Misión para la Transformación Energética que lidera el Ministerio de Minas y Energía. También, la regulación deberá facilitar la rápida adopción de los recursos energéticos descentralizados y su monetización e impulsar la electrificación del transporte urbano.

Sugieren aumentar la financiación de las empresas sectoriales en I+D con estímulos a la inversión en las misiones y proyectos mencionados. El centro puede convertirse en el pivote del ecosistema de innovación en energía, con apoyo público a *startups* mediante convocatorias en los proyectos que se originen en las misiones y los laboratorios propuestos.

Los lineamientos del Plan Estratégico del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Energía y Minería 2020-2030 (Colciencias, 2019)[34]

[33] Citado en los documentos de la Misión, pero tomado directamente del informe referido.
[34] Resumen realizado a partir del documento del Programa, básicamente de la introducción.

En el documento del Programa se proponen los frentes de trabajo y las líneas de investigación priorizadas en materia de ciencia, tecnología e innovación en energía y minería para la siguiente década. Se busca focalizar los esfuerzos y los recursos de los actores públicos, privados, académicos, científicos y tecnológicos y de la sociedad civil, tanto nacionales como territoriales, interesados en esta temática; en particular, en disminuir la vulnerabilidad del sector energético colombiano ante el cambio climático y mejorar la sostenibilidad del servicio de energía, aumentar la resiliencia de la matriz energética colombiana y la valoración del potencial energético del país a partir de fuentes alternativas de generación de energía, y captar una mayor inversión multisectorial en investigación y desarrollo para producir investigación, desarrollo e innovaciones que a estos sectores más competitivos y sostenibles.

Se formulan cuatro frentes de trabajo con sus respectivos indicadores y fuentes de información, que estructuran la estrategia del Programa Nacional de CTI:

1) Habilitar la diversificación de la matriz energética del país aumentando el conocimiento y los desarrollos tecnológicos en fuentes alternativas de generación de energía.
2) Potenciar el suministro de energía ambientalmente sostenible en Colombia a partir de la generación de soluciones y tecnologías innovadoras.
3) Incrementar la competitividad del sector energético colombiano desarrollando soluciones tecnológicas e innovaciones y procesos de transferencia tecnológica, generadas a partir de alianzas estratégicas nacionales e internacionales.
4) Aumentar las inversiones en proyectos de I+D+i que potencialicen la transición energética colombiana.

Se contemplan diez líneas de investigación priorizadas: (i) eficiencia energética, (ii) gestión energética, (iii) tecnologías para generación de energía a partir de FNCER, (iv) almacenamiento de energía, (v) respuesta a la demanda, (vi) complementariedad entre diferentes fuentes de energía, (vii) nuevas tecnologías para la gestión eficiente del agua y la energía en el sector minero, (viii) avances en las tecnologías de materiales para generación y almacenamiento de energía, (ix) transporte que reduzca emisiones de CO_2, (x) exploración, reserva y producción de minerales, petróleo y gas natural.

Capacidades de investigación y algunas iniciativas en curso

Según los datos suministrados por Colciencias[35] para este resumen, los grupos de investigación asociados al Programa de Energía y Minería constituyen el 1,94 % del total de grupos registrados en la plataforma ScienTI - Colombia (diciembre 5 de 2019 - Convocatoria 833 de 2018). Son 112 grupos de investigación, 99 de los cuales reportan actividades en ingeniería y tecnología, 12 en ciencias naturales y 1 en ciencias sociales.

El área y la subárea del conocimiento en el que se clasifican estos grupos se presentan en la siguiente tabla:

Gran área	Área	Disciplina	A1	A	B	C	Reconocido	Total
Ciencias naturales	Ciencias físicas		0	0	0	1	0	1
	Ciencias químicas		1	2	0	2	0	5
			0	0	1	3	0	4

[35] Con el apoyo de Yesid Ojeda y su equipo.

Gran área	Área	Disciplina	A1	A	B	C	Reconocido	Total
	Ciencias de la tierra y medioambientales	Geociencias (multidisciplinario)	0	0	0	1	0	1
	Otras ciencias naturales	Otras ciencias naturales	0	0	0	1	0	1
Ingeniería y tecnología	Ingeniería civil		0	0	0	1	1	2
	Ingenierías eléctrica, electrónica e informática		13	7	1	10	0	31
	Ingeniería mecánica		3	5	5	5	0	18
	Ingeniería química		3	5	0	3	0	11
		Ingeniería química (plantas y productos)	0	0	0	1	0	1
	Ingeniería de los materiales		2	5	0	1	0	8
	Ingeniería ambiental		1	0	2	2	0	5
	Otras ingenierías y tecnologías		4	4	5	3	2	18
		Otras ingenierías y tecnologías	0	0	2	3	0	5
Ciencias sociales	Derecho		0	1	0	0	0	1
	Total		**27**	**29**	**16**	**37**	**3**	**112**

La ubicación de estos grupos por región y categoría de clasificación es la siguiente:

	A1	A	B	C	Reconocido	Total	% total nacional
No registra	0	0	1	2	0	3	2,75 %
Centro - Sur	1	1	0	1	0	3	1,35 %
Región Caribe	3	3	2	2	0	10	1,27 %
Centro - Oriente	1	10	5	11	1	28	3,71 %
Distrito capital	6	3	4	8	0	21	1,12 %
Región Eje Cafetero	14	9	4	8	2	37	3,00 %
Región del Llano	2	3	0	5	0	10	1,43 %
Región Pacífico	1	1	0	1	0	3	1,35 %
Total	**27**	**29**	**16**	**37**	**3**	**112**	

La Misión de Sabios considera que las universidades, además de la formación del talento humano que requiere el país, "están llamadas a seguir impulsando el desarrollo de la ciencia, a proponer las preguntas que la sociedad requiere y a trabajar en las respuestas que la humanidad demanda", y "deben contribuir al fortalecimiento de los centros autónomos para así consolidar un sistema general de ciencia y tecnología que transfiera el conocimiento a la sociedad".

A continuación, se presentan algunas de las iniciativas que adelantan los grupos de investigación en la temática de energía.

Ecosistema energético 2030[36]

[36] Resumen del documento preparado por el profesor Jairo Espinosa.

Este ecosistema reúne 189 investigadores de 36 grupos en 8 universidades colombianas[37], 5 empresas[38] y 12 instituciones internacionales de 9 países[39]. Esta alianza se ha constituido con el objetivo de "desarrollar una estrategia integral para la transformación del sector energético colombiano, orientada a su confiabilidad y sostenibilidad social, económica y ambiental en el horizonte del año 2030".

El ecosistema desarrolla cinco *living labs*, múltiples prototipos, modelos de negocio, propuestas de modelos de mercado, desarrollo de formas sostenibles de suministro energético en comunidades de bajo ingreso y localización remota, construcción y transporte sostenible.

Adelanta 10 proyectos[40] que buscan: (i) generar una política de transformación del sector energético para el 2030; (ii) desarrollar una industria para la generación de energía que se pueda utilizar en zonas no interconectadas y en pequeñas comunidades, de nuevas formas de gestión eficiente mediada por tecnología y desarrollo de proyectos comunitarios, y tecnologías de análisis que permitan gestionar de manera confiable y robusta las cadenas de distribución de energía; (iii) desarrollar nuevos mercados que respondan a los cambios de la tecnología de generación y uso en el país y en Latinoamérica; (iv) ampliar la masa crítica de profesionales y científicos especializados en energías sostenibles y gestión del uso de la energía en las regiones de la costa, Norte de Santander y regiones no interconectadas del país; (v) apropiar nuevas tecnologías a través de las alianzas con socios internacionales líderes en la gestión energética.

Desarrollar nuevos mercados de tecnología y servicios en Latinoamérica

Los desafíos que se plantean esta alianza de investigadores buscan resolver los siguientes interrogantes: (i) ¿Cómo mejorar la eficiencia en el uso de combustibles fósiles?, (ii) ¿Cómo

[37] Universidades Nacional de Colombia (ancla), Pontificia Bolivariana, Eafit, Escuela de Ingeniería de Antioquia, de La Guajira, Francisco de Paula Santander, de Sucre y Corporación Universitaria del Caribe.
[38] ISA, XM, Intercolombia, Internexa y Convel S. A.
[39] Jülich Forschungszentrum (Alemania), Energieville (Bélgica), RWTH Aachen (Alemania), TU Eindhoven (Holanda), TU Delft (Holanda), K. U. Leuven (Bélgica), Aarhus University (Dinamarca), Universite de Laussane (Suiza), DUKE (EE. UU), Washington State University (EE. UU), University of Dalhousie (Canadá) y Universidad de Zaragoza (España).
[40] P0: Fortalecimiento interinstitucional.
P1: Transformación del consumidor en el mercado energético colombiano hacia una respuesta activa de la demanda, mediante la gestión integral y el uso eficiente de energía, como fuente de recursos distribuidos en el horizonte 2030.
P2: Construcción energéticamente sostenible.
P3: Movilidad sostenible: análisis de la movilidad eléctrica como potencial nodo prosumidor.
P4: Poligeneración: la biomasa, precursor para nuevos productos de valor agregado y oportunidad para garantizar un sistema eléctrico confiable y sustentable.
P5: Generación distribuida de energía eléctrica en Colombia a partir de energía solar y eólica.
P6: Política, regulación y mercados.
P7: Análisis de escenarios y definición de estrategias futuras.
P8: Pruebas del concepto Micro-Redes en Colombia: diseño e implementación de recursos distribuidos y estrategias de control secundario para redes de distribución activas y microrredes en Colombia.
P9: Supervisión, control y protecciones de sistemas eléctricos con alta participación de fuentes no convencionales de energía renovable y fuentes de generación distribuida con alta incertidumbre en el escenario Colombia 2030.
P10: Laboratorio de cocreación para la apropiación tecnológica de nuevas alternativas de producción y consumo de energía en Colombia.

sustituir el uso de combustibles fósiles?, (iii) ¿Cómo aumentar la eficiencia y la viabilidad financiera de fuentes no convencionales de energía renovable?, (iv) ¿Cómo se debe operar y coordinar un sistema con profunda participación de fuentes no convencionales de energía renovable?, (v) ¿Cómo se debe elegir la matriz de generación en zonas no interconectadas?, (vi) ¿Cuáles deben ser las características de un mercado de energía con nuevos tipos de generación?, (vii) ¿Cómo resolver las barreras sociales, hábitos regionales o culturales que ponen en riesgo la sostenibilidad de algún tipo de fuente no convencional de energía renovable?

Alianza Séneca (Sostenibilidad Energética para Colombia)[41]

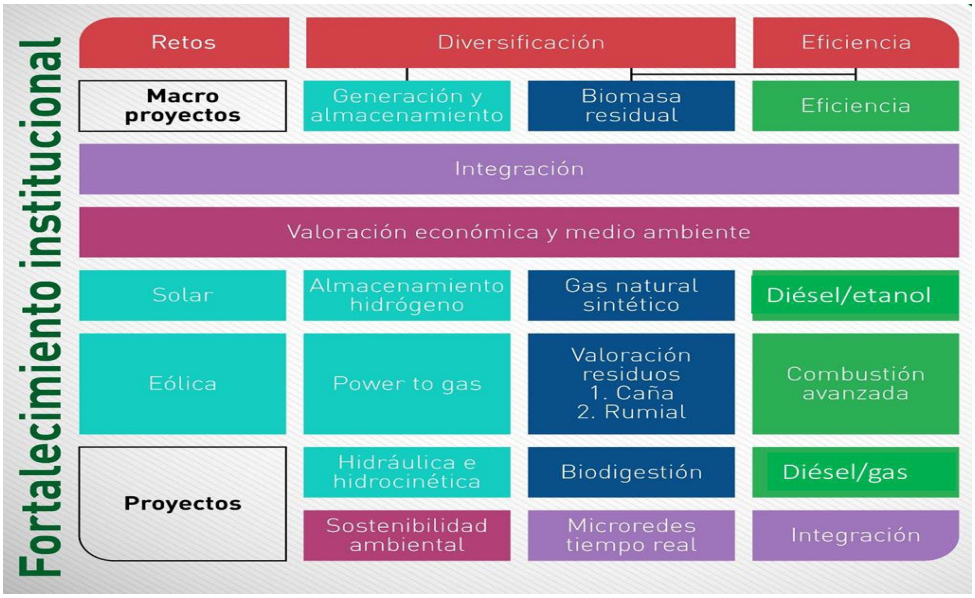
Este ecosistema está conformado por 11 universidades[42], 8 empresas[43] y 1 corporación[44] nacional. Cuenta con el apoyo de grupos de investigación de 7 universidades internacionales[45]. Su objetivo es desarrollar e implementar un programa de investigación y desarrollo tecnológico para la sostenibilidad, la diversificación energética, la optimización y el uso final eficiente de la energía basado en el aprovechamiento de los recursos renovables de las regiones. Lo anterior, con el fin de contribuir a un suministro confiable, eficiente, de bajo impacto ambiental y sostenible del recurso energético en Colombia. Además, buscan sinergias mediante la articulación de capacidades científicas y académicas en pro del mejoramiento de la calidad de las instituciones educativas participantes, y de estas con la industria y entidades del Gobierno para la mejora en la productividad y la competitividad del sector industrial y de transporte.

Los proyectos de investigación que adelantan buscan avanzar hacia una diversificación de la canasta energética mediante el desarrollo y la adaptación de nuevas tecnologías de generación renovables (solar, hidráulica a pequeña escala, hidrocinética, agroenergía, eólica, gas natural sintético), así como para su integración a la red y al sistema mediante sistemas de interconversión y almacenamiento de energía tales como el concepto *power to gas*. Se busca que estos desarrollos tengan impacto inmediato sobre la industria nacional, por la producción de bienes de capital y la consolidación en el sistema de innovación. De otro lado, en el tema del uso de la energía es necesario reducir la energía no utilizada mediante proyectos que mejoren la eficiencia térmica y eléctrica en los sectores de mayor demanda: transporte, industrial y residencial. Finalmente, la alianza trabaja en combustibles de origen renovable limpios, que además de disminuir las emisiones contaminantes, criterio que tanto agobia a los grandes centros urbanos, permitan reemplazar al menos parcialmente a los combustibles fósiles.

En la figura siguiente se ilustran los macroproyectos y proyectos diseñados para el logro de los objetivos de la alianza: (i) Generación y almacenamiento: solar fotovoltaica, baterías e hidrógeno por electrólisis de agua, hidráulica e hidrocinética, eólica a pequeña escala y *power to gas* (proyecto integrados que se desarrolla en La Guajira), (ii) Biomasa residual: gasificación-gas natural sintético, valoración de residuos sólidos (ruminal y residuos agroindustriales de caña) y biodigestión, (iii) eficiencia energética: transporte (con diésel-

[41] Resumen del documento preparado por el profesor Franklin Jaramillo, Universidad de Antioquia.
[42] Universidades Autónoma del Caribe, de Antioquia (ancla), del Cauca, de Córdoba, de La Guajira, de la Sabana, de Nariño, de Pamplona, del Quindío, del Valle y Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba.
[43] Agropecuaria la Montañita S. A. S., Cementos Argos S. A., Centro de investigación de la caña de azúcar, Empresas Públicas de Medellín, Frigorífico del Sinu Frigosinú S. A., Kleen&Green S. A., Potencia y Tecnologías Incorporadas S. A., Sumicol S. A.
[44] Corporación Tecnnova Universidad Empresa Estado (articuladora).
[45] Oxford University, Universidad de Sao Pablo, Delft University of Technology, Universidad de Santiago Compostela, Hokkaido University, Arizona State University (ASU) y Columbia University.

etanol y diésel-gas natural) y combustión avanzada, (iv) integración de tecnologías: integración en red y microrredes en tiempo real y, finalmente, (v) sostenibilidad económica y ambiental de algunas de las tecnologías que se desarrollen.



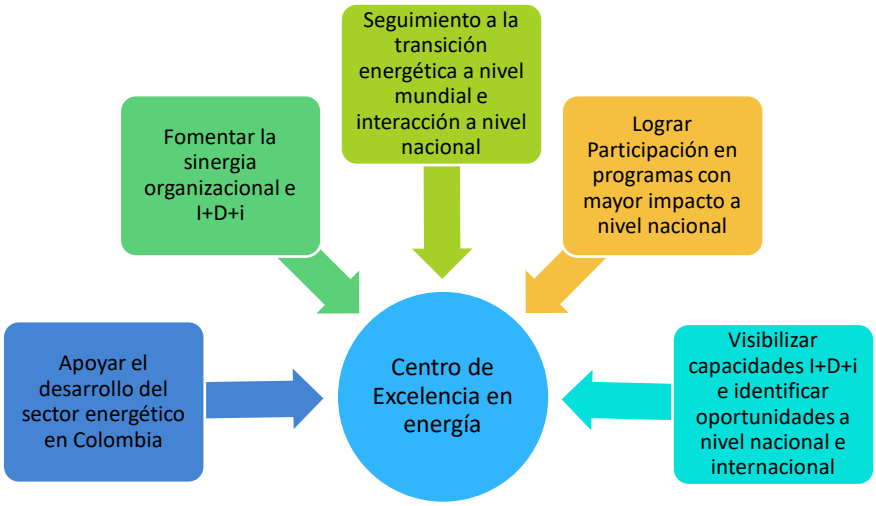
Propuesta de creación de un centro de excelencia en energía de la Universidad Nacional[46]

La Universidad Nacional ha venido estudiando la creación de un centro de investigación, desarrollo tecnológico e innovación en energías con el fin de participar en forma más dinámica y consistente en los temas relevantes del país en materia energética y aumentar la sinergia entre los grupos de investigación de la Universidad. Se han identificado más de 100 grupos de investigación, 20 laboratorios, 8 institutos y 3 redes de conocimiento que podrían participar en esta iniciativa y que cuentan con el respaldo de los programas académicos de posgrado y pregrado.

El trabajo de este centro estaría orientado a fortalecer la gestión de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, innovación y transferencia tecnológica en el área de la energía, de acuerdo con las necesidades sociales, productivas y del sector energético colombiano mediante la producción, el análisis y la socialización de conocimientos en el área de la energía y el desarrollo de soluciones integrales que respondan a los retos de la sociedad colombiana y sus empresas, consolidando un vínculo colaborativo universidad-empresa-Estado.

La figura siguiente resume los objetivos estratégicos propuestos para este centro.

[46] Resumen del documento preparado por el profesor Omar Prias.



Centro de Investigaciones en Energía (CIE) de la Universidad de los Andes[47]

Diferentes grupos de investigación de la Universidad de los Andes (principalmente de las Facultades de Ingeniería y Ciencias), con trabajo en el campo de la energía y el control, se han unido alrededor de una antigua iniciativa de la Facultad de Ingeniería para la conformación de un centro de investigaciones en energía. En particular, estos grupos han venido tratando de enfocar su trabajo hacia los **sistemas distribuidos para una energía sostenible**.

Se busca aportar en tres ejes: (i) política pública y regulación que apoyen la toma de decisiones del Gobierno y los agentes públicos y privados; (ii) innovación y desarrollo de tecnologías y herramientas más sofisticadas que involucren los diferentes actores a nivel nacional y local; (iii) solución de problemas regionales y locales en procesos de coconstrucción.

Es importante anotar que los grupos que responden a esta iniciativa han desarrollado trabajos con otras universidades y aspiran a fortalecer la red de investigación que han conformado hasta el momento. Igualmente, en el trabajo desarrollado se ha colaborado con empresas nacionales y laboratorios de investigación internacionales. En este marco de trabajo, se identifican desafíos actuales y futuros en los que el grupo de investigación de la Universidad de los Andes observa oportunidades para apoyar en los procesos de transición energética y también bajo la coyuntura vigente como consecuencia de la pandemia del covid-19. Entre estos desafíos, destacan:

1) Concepción robusta y gestión óptima de microrredes aisladas e interconectadas
2) Control distribuido de microrredes y DER
3) Integración masiva de vehículos eléctricos y electrificación de la demanda
4) Integración de sistemas multienergía (gas, electricidad, transporte)
5) Comercialización distribuida y aplicación de DLT (*distributed ledger technologies*)
6) Observabilidad de redes de distribución, monitoreo y control, *hosting capacity* y *big data*
7) Nuevos modelos de negocios y mercados, nuevos actores
8) Nexus energía-agua-alimentos

[47] Resumen del documento preparado por los profesores Nicanor Quijano, Guillermo Jiménez, Fernando Jiménez, Juan Gabriel Ramírez y Ángela Cadena.

Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (GIIEE) de la Universidad de Nariño[48]

El GIIEE ha liderado proyectos enfocados principalmente a energización rural, gestión de microrredes y sistemas de transporte compartido con bicicletas eléctricas. A partir de proyectos como el Plan de Energización Rural Sostenible (PERS - Nariño) (2012-2014), Alternar (2014-2017), Pacífico Pura Energía (2015), Bicicletas Campus Verde (2016), Ciudad Energética (2018-2019) y Campus Verde Udenar (2020), se han articulado alianzas estratégicas para abordar en conjunto diferentes temáticas. Por ejemplo, con la ayuda de la UPME, el IPSE, Cooperación Internacional, la Universidad de los Andes y la Universidad del Valle, se han impulsado iniciativas con recursos de diversas fuentes para fortalecer proyectos sostenibles energéticos y productivos en áreas rurales, caracterización de fuentes no convencionales, diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos en regiones apartadas, implementación de sistemas de bicicletas eléctricas y gestión integral de transporte y energía con fuentes no convencionales.

La dinámica de formulación y ejecución de proyectos ha permitido fortalecer la infraestructura de laboratorios de la Universidad, consolidando las capacidades de generación de nuevo conocimiento de los estudiantes, docentes e investigadores. Además, a través de la alianza con los diferentes entidades y grupos de investigación, se ha generado una red de trabajo abierta que busca que el entorno científico se vea enriquecido mediante el trabajo en equipo, el intercambio continuo alrededor de temáticas comunes, el refuerzo de las capacidades investigativas y el uso de infraestructura compartida para alcanzar los objetivos propuestos. En este sentido, los beneficios se ven potenciados con el trabajo en equipo, donde el amplio desarrollo y experiencia de los aliados en los proyectos permiten impulsar los procesos de la Universidad de Nariño, actualmente posicionada como una universidad de pregrado, en un círculo virtuoso para incrementar la productividad y los avances en investigación y desarrollo.

Cepit de la Pontificia Universidad Javeriana[49]

A través de los grupos de investigación, la Universidad busca crear conocimiento en temáticas particulares. Cepit es el acrónimo del grupo de investigación en Control, Electrónica de Potencia y Gestión de la Innovación Tecnológica, catalogado en Colciencias en categoría A1. El grupo fue creado en 2003 y agrupa a ocho profesores de la Facultad de Ingeniería. Las líneas de investigación del grupo son: (i) conversión de energía, (ii) eficiencia energética, (iii) gestión de la innovación tecnológica, (iv) sensores y buses de campo, (v) sistemas de control automático.

El Cepit cuenta con varios proyectos interdisciplinarios con financiación interna y externa, y también con publicaciones en revistas científicas nacionales e internacionales en energías no convencionales desde la conversión mediante convertidores de potencia hasta la distribución en redes inteligentes.

En Colombia apenas comienzan a penetrar las energías alternativas no convencionales y existen retos de índole regulatoria y de política energética, económica, ambiental, social y tecnológica para integrarlas en la matriz energética. La Universidad, mediante su experiencia en investigación y sus programas, ha logrado dar algunas luces importantes con soluciones innovadoras.

[48] Resumen preparado por el profesor Andrés Pantoja.
[49] Resumen preparado por el profesor Diego Patiño.

Por otra parte, la Universidad Javeriana cuenta con la maestría en Energía y Sostenibilidad, la cual busca formar profesionales con habilidades para dar respuesta a los grandes retos que plantea el desarrollo de proyectos ambientalmente sostenibles y socialmente responsables en energía en Colombia, bajo paradigmas surgidos de un enfoque interdisciplinario y sustentado en la fortaleza investigativa conjunta de las Facultades de Ingeniería y Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana y de otras áreas de la Universidad.

Grupos D+TEC y Medio ambiente y energía de la Universidad de Ibagué[50]

Los grupos de investigación de la Universidad de Ibagué han venido trabajando en diferentes iniciativas para mejorar el suministro y uso de la energía en zonas urbanas y rurales, especialmente a través de desarrollos electrónicos e informáticos relacionados con energías renovables. Entre los intereses recientes se pueden mencionar: (i) el desarrollo de microrredes híbridas (energía solar, baterías y respaldo diésel) y la búsqueda de estrategias de operación inteligente mediante control centralizado y distribuido, supervisión de largo plazo y gestión remota, temas articulados principalmente a través del proyecto "Planta piloto de microrred híbrida inteligente para aplicaciones de automatización agrícola y autonomía eléctrica en viviendas rurales sostenibles MIREDHI - LAB"; (ii) el estudio de sistemas de conversión bidireccionales con soporte de energías renovables y baterías para aplicaciones de generación distribuida con conexión a red y aplicaciones aisladas con autonomía energética, como, por ejemplo, el control de canales de riego a través de compuertas inteligentes (proyecto en articulación Unibagué - UniAndes) o la medición de múltiples variables con agrosensores autónomos; (iii) el análisis de calidad de energía y eficiencia en instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica usando arquitecturas centralizadas de inversor único y modulares a base de microinversores, estudios apoyados a través de proyectos propios de la Universidad de Ibagué; (iv) la evaluación y viabilización de proyectos desarrollados en el marco de PERS - Tolima como contribución a la política de energización rural del país.

Estos grupos cuentan con el respaldo de laboratorios de investigación internacionales y soportan la maestría en Ingeniería de Control y las propuestas actuales de creación de los programas de maestría en Energías Renovables y doctorado en Ciencias Aplicadas, los cuales entrarán al corto plazo a fortalecer directamente la actividad en el área de la energía.

Universidad Tecnológica de Pereira[51]

En el campo energético, esta universidad se ha caracterizado por dos aspectos: su trabajo en modelaje y análisis de sistemas de potencia, y su labor de apoyo a la industria eléctrica regional y nacional y a las entidades de gobierno. Tiene un sinnúmero de grupos que pueden contribuir en esta iniciativa de un centro de energía. Para mencionar solo algunos, están: (i) Desarrollo en Investigación de Operaciones (Dinop), que trabaja en el desarrollo de herramientas matemáticas y computacionales que permitan colocar al alcance de la comunidad académica, científica e industrial el estado del arte alcanzado por el grupo; (ii) Planeamiento de Sistemas Eléctricos, que busca mejorar los modelos matemáticos que representan los sistemas eléctricos en los diferentes problemas, así como las metodologías matemáticas de solución existentes para estos problemas, explorando nuevas metodologías; (iii) Conceptos Emergentes en Energía Eléctrica, que trabaja en el área de calidad y estabilidad de sistemas de potencia; (iv) Electrónica de Potencia, que estudia

[50] Resumen revisado por el profesor Oswaldo López.
[51] Resumen preparado a partir de información suministrada por los profesores Germán López y Alex Molina.

convertidores eléctricos que permitan una mejor utilización y uso racional de las fuentes de energía, en especial aquellas que son renovables y en el estudio de estrategias de control y modelamiento de convertidores eléctricos.

Estos grupos cuentan con el apoyo de equipos de investigadores en el área de automática, sistemas de control, robótica, campos electromagnéticos, electrónica, sensores, análisis de datos, entre otros. Además, se tiene el respaldo de los programas de posgrado y pregrado de alta calidad.

Universidad Jorge Tadeo Lozano[52]

La Universidad Jorge Tadeo Lozano lleva a cabo formación para la investigación y adelanta investigación a través de (i) sus programas de Ingeniería de la Energía, maestría en Gestión Sostenible de la Energía y en dos de sus programas doctorales —Ingeniería y Modelado en Política y Gestión Pública—; (ii) tres grupos de investigación A1 y uno A en Modelado y Simulación en la Industria; Energía, Ambiente y Desarrollo (EADE); Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales; Modelado y Simulación de Sistemas; e Investigación en Ingeniería de Datos y Sistemas Inteligentes (ID&SI).

Las principales áreas de interés en investigación incluyen los temas de (a) modelado en un sentido amplio (transformación de fuentes, hibridación de tecnologías, política pública y estrategia empresarial), (b) escenarios energéticos, (c) política y gestión para la transformación tecnológica, (d) experimentación, innovación y prototipado de soluciones energéticas, (e) eficiencia y optimización de soluciones energéticas (incluyendo aproximaciones desde la perspectivas de metabolismo urbano), (f) penetración de renovables, generación distribuida y redes inteligentes, (g) participación de la demanda, (h) modelos de nuevas empresas de energía, (i) energía y desarrollo, (j) desarrollo sostenible, particularmente desde la perspectiva WEF (Water-Food-Energy nexus), (k) zonas no interconectadas.

En los campos de interés, publica extensamente en revistas internacionales de gran reconocimiento, en los cuartiles Scopus más altos, y presenta sus investigaciones en eventos importantes a nivel nacional, regional e internacional.

Para la investigación y formación hacia la investigación, coopera con universidades colombianas (incluyendo la Universidad Nacional, EIA, UPB, Tecnológica de Chocó e Icesi) e internacionales (incluyendo la Universidad Católica de Chile, UFRJ, Imperial College Londres, UCL, Universidad de Palermo, Universidad de Aveiro y Penn State University). Además, ha desarrollado proyectos para la UPME, Colciencias, Ecopetrol, Fundación ENEL y EPM, entre otros; y también ha liderado y adelantado proyectos de colaboración con el Reino Unido en temas de ZNI.

Universidad Industrial de Santander[53]

La Universidad Industrial de Santander adelanta proyectos que apuntan hacia una Colombia sostenible. Como ejemplo, se encuentran los proyectos asociados a la línea de "Uso racional de la energía y energías alternativas". El edificio de Ingeniería Eléctrica integra varias estrategias que propenden al ahorro de energía, tales como cubierta verde, iluminación natural, ventilación natural, sistemas de alta eficiencia de iluminación y aire acondicionado, sistemas de energía solar fotovoltaica, entre otros. A partir de la experiencia anterior, en

[52] Resumen preparado por el profesor Isaac Dyner.
[53] Resumen del documento enviado por los profesores Gabriel Ordóñez y Dionisio Laverde.

asocio con el clúster de la construcción de Santander y el Gobierno suizo, participan en el diseño y la próxima construcción del primer laboratorio piloto de vivienda de interés social sostenible en la región y la realización de un proyecto de investigación en asocio con la UPME y Colciencias de una propuesta de "lineamientos técnicos para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones en Colombia a partir de simulaciones energéticas". Asimismo, se han desarrollado algoritmos y prototipos de monitorización no intrusiva de cargas residenciales, los cuales contribuyen al uso racional y eficiente de la energía y al desarrollo de servicios complementarios para la gestión de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica.

Se ha trabajado también en la línea de "redes inteligentes y microrredes" en temas asociados al efecto de estrategias de gestión de la demanda en la planeación de microrredes aisladas, y se ha investigado en la integración del hidrógeno en la canasta energética, campo en el cual se explora el impacto de la integración de los recursos distribuidos (DER) en la resiliencia de los sistemas de distribución. Además, se están estudiando las buenas prácticas para la planeación e integración exitosa de la movilidad eléctrica en Colombia, así como las estrategias de control terciario necesarias para una programación óptima y descentralizada de operación de redes de distribución de energía eléctrica para la gestión de recursos energéticos distribuidos.

También se han desarrollado diferentes trabajos en el área de la calidad de la potencia con miras en una gestión operativa eficiente de los sistemas de energía eléctrica y en electrónica de potencia orientados, entre otros, al control de sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red, el control de sistemas fotovoltaicos multifuncionales con capacidades de compensación de carga y soporte a la red ante fallas de corta duración, el control de convertidores electrónicos de potencia en microrredes aisladas y el desarrollo de prototipos electrónicos para diferentes aplicaciones, como la caracterización de paneles solares.

Por otra parte, actualmente se realiza investigación teórica y experimental enfocada en el desarrollo de nuevos materiales para dispositivos semiconductores, tales como fotodetectores y celdas solares con tecnologías emergentes (celdas de perovskita y kesterita).

Finalmente, vale la pena mencionar los trabajos con el CDT del Gas, enfocados a apoyar la diversificación de la matriz energética con gases combustibles renovables y fósiles.

Red nacional de Investigación e Innovación en Combustión Avanzada de Uso Industrial (Incombustión)[54]

En Colombia, los sistemas energéticos térmicos en los sectores industrial, residencial y de transporte presentan un alto grado de obsolescencia tecnológica y baja eficiencia energética, lo que influye fuertemente en la productividad de los procesos, en las emisiones contaminantes superiores a los estándares establecidos y, en muchos casos, con impactos negativos sobre la salud ocupacional. Colombia es una sociedad energéticamente ineficiente. Según la UPME, por cada terajoule (TJ) de energía final que entra a la economía, se utilizan 0,32, lo que permite estimar los costos anuales de las pérdidas de energía en 6700 a 11.000 millones de dólares, cuando se compara las eficiencias de los equipos actualmente instalados con las mejores tecnologías disponibles en el estado del arte internacional. Como respuesta a la situación planteada, en 2013, con la financiación de Colciencias, se creó la Red Incombustión con la participación de Antioquia a través de los grupos de investigación Gasure (Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía-

[54] Resumen preparado por el profesor Andrés Amell Arrieta.

A1) y Quirema (Química de Recursos Energéticos y Medio Ambiente-A1); la Universidad Nacional, a través del grupo Tayea (Termodinámica Aplicada y Medio Ambiente-A1); la Universidad del Valle, a través del grupo CTC (Ciencia y Tecnología del Carbón-A1); y el Instituto Tecnológico Metropolitano, a través del grupo Materiales Avanzados y Energía-A. En la segunda fase, han participado las empresas Sumicol, Nutresa, Imal, Mejisulfatos y Penagos.

El objetivo de Incombustión ha sido la investigación y la innovación tecnológica en nuevos tipos de combustión, complementadas con programas demostrativos, adaptación tecnológica y transferencia tecnológica a la industria colombiana para permitir la modernización de los sistemas de combustión y calentamiento, lo que posibilitaría aumentar la eficiencia y la productividad de los procesos en aproximadamente un 25 % y hasta a un 40 %, y con ello la competitividad del sector productivo intensivo en consumo de energía térmica, tanto en grandes consumidores como en pymes. De otro lado, se abre la posibilidad para coadyuvar al desarrollo de empresas fabricantes de equipos y sistemas de combustión, como también servicios tecnológicos especializados, que incorporen las nuevas tendencias tecnológicas para satisfacer el requerimiento del mercado nacional y latinoamericano.

Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética (Reciee)[55]

La Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética está conformada por 13 entidades a nivel nacional y 12 grupos de investigación, y cuenta con el apoyo de Colciencias. Fue constituida en 2003 con el fin de alinear intereses, crear capacidades nacionales y desarrollar actividades de investigación para la gestión de la energía en el sector productivo colombiano, que generen un impacto relevante en la productividad y competitividad de las industrias a través de la adopción de nuevas tecnologías. La alianza universidad-empresa-Estado debe permitir la transferencia de conocimiento, sostenibilidad y continuidad de los resultados del programa y estrategias desarrolladas.

En los más de diez años de existencia, la red ha trabajado de manera armónica con entidades de los sectores gubernamentales, la industria y la academia en el ámbito de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, y en el desarrollo de programas de eficiencia y gestión de la energía, con impacto en el desarrollo del país.

Entre 2004 y 2016, la Reciee organizó cuatro de las cinco ediciones del Congreso Internacional en Uso Racional y Eficiente de la Energía (Ciuree). En 2007, la red desarrolló un modelo para la implementación de sistemas de gestión integral de la energía (SGIE) en industrias colombianas, el cual fue adoptado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) e implementado como piloto en industrias colombianas bajo el apoyo de esta institución.

Entre 2010 y 2013, la red desarrolló el Programa Estratégico Nacional SGIE, con el cual se difundió el sistema de gestión en más de 50 empresas en cinco regiones del país, se fortalecieron capacidades nacionales en la gestión de la energía y se alineó la metodología de implementación con el estándar internacional ISO 50001. En esta misma línea, la red acompañó al Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec) en la adopción oficial del estándar ISO 50001 por medio de la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001.

[55] Resumen realizado a partir de la página web.

Actualmente, Reciee participa activamente en espacios interinstitucionales de decisión nacional, tales como la Mesa de Trabajo en Eficiencia Energética liderada por el Ministerio de Minas y Energía y la Asociación Nacional de Empresarios (ANDI), el comité 228, espejo del TC-242 de la institución internacional ISO que maneja las normas de familia 50000 y el programa de Promoción de la Eficiencia Energética en las Industrias Colombianas, liderado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

Clúster de Energía del Suroccidente Colombiano[56]

Este conglomerado tiene siete años de operación buscando ser motor del desarrollo socioeconómico de la región. La iniciativa nació en 2012 como respuesta a la necesidad de trabajar en pro de la cadena productiva de energía y de la región y cuenta con la participación de universidades e industrias de los departamentos del Valle del Cauca, Cauca, Nariño y Risaralda y el apoyo de las entidades del gobierno departamental y local.

El clúster considera la cadena productiva del sector de energía eléctrica y los bienes y servicios conexos con tres eslabones principales, con los cuales se cuenta en el suroccidente de Colombia. El primero se encarga de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. El segundo produce bienes, como cables, transformadores, motores y otros recursos eléctricos, electrónicos o mecánicos utilizados en los sistemas de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. El tercer eslabón es el subsector de servicios conexos, que realiza el mantenimiento, la ingeniería y construcción, los servicios financieros y el proceso de comercialización.

Tiene cuatro mesas de trabajo en desarrollo de capacidades, normatividad, movilidad sostenible y I+D+i.

Entre las iniciativas impulsadas en el último año, se pueden mencionar: (i) participación en la formulación de política pública y regulación de energía para el despliegue de la medida, así como demanda activa y fomento a la participación activa de la demanda en los mercados para ganar competitividad en la industria; (ii) con Propacífico y la Gobernación del Valle se participó como ente consultivo en la fase de prefactibilidad del tren de cercanías que conectará los municipios de Palmira, Yumbo, Cali y Jamundí, generando a su paso nuevos desarrollos urbanos y regionales; (iii) apoyo a la llegada de los primeros 26 buses eléctricos de Colombia que circulan en la ciudad de Cali; (iv) preparación del "Simposio internacional sobre mercados y nuevas tecnologías en generación de energía, ISESM 2020" con el liderazgo de la Universidad Javeriana de Cali; y (v) puesta en marcha del Laboratorio de Medida Inteligente en la Universidad José Antonio Camacho, con participación de Celsia, Inpel e Inelca.

Vale la pena mencionar que la empresa MSYS obtuvo el premio FISE a la innovación 2019, al cual estuvieron nominadas también Centelsa, CEO, empresas del clúster y de la región Suroccidente. Igualmente, las empresas del clúster promovieron y participaron en el Solar Decathlon 2019, segunda edición realizada con la coordinación de la Universidad del Valle.

Colombia Inteligente[57]

Es una red de colaboración conformada por empresas, muchas de ellas del sector eléctrico, un centro de desarrollo tecnológico y entidades del sector que busca la inserción integral y

[56] Resumen realizado con base en el informe de gestión 2019.
[57] Resumen realizado a partir de las presentaciones de trabajos de la red.

eficiente de los sistemas inteligentes a la infraestructura del sector eléctrico colombiano con el propósito de disminuir riesgos y maximizar beneficios a los actores de interés.

Los principios que orientan esta red son: (i) fomentar el desarrollo de soluciones tecnológicas integrales y eficientes para viabilizar la inserción de los sistemas inteligentes; (ii) acelerar la creación de valor mediante un proceso de coparticipación intersectorial; y (iii) compartir conocimientos y experiencias para fortalecer el desarrollo tecnológico de las empresas y entidades.

Los objetivos de Colombia Inteligente son: (i) ser un arquitecto estratégico que promueva el desarrollo integral y eficiente de los sistemas inteligentes en Colombia para contribuir al acceso universal de la energía, a una participación activa de los ciudadanos, a la productividad, a la competitividad y al desarrollo sostenible del sector eléctrico del país; (ii) fomentar la generación de capacidades y conocimiento para el desarrollo de los sistemas inteligentes, en forma sinérgica y colaborativa; (iii) promover pilotos y proyectos en sistemas inteligentes, propiciando las alianzas estratégicas con otros sectores de la economía e identificando fuentes de financiación; (iv) influir la política, la regulación y la estandarización para la implantación de los sistemas inteligentes; y (v) generar una organización sustentable, capaz de lograr los objetivos anteriores.

La organización desarrolla diferentes trabajos que contribuyen al logro de los objetivos planteados en cumplimiento de los principios establecidos.

Observatorio Colombiano de Energía (UPME)[58]

El UPME ha evaluado la creación de un observatorio de energía para facilitar el seguimiento y monitoreo de tecnologías que permitan al país avanzar en su transición energética. Este trabajo se hace en el marco de los objetivos del Ideario del sector energético colombiano al 2050. Se adelantó el proyecto de investigación "Identificación de los elementos y requisitos mínimos necesarios para la formulación, estructuración e implementación de un observatorio de energía que recopile y analice información que conduzca a oportunidades de innovación para lograr los objetivos del PEN 2050", liderado por la Universidad Nacional y con participación de la Universidad del Valle y la Corporación de Desarrollo Tecnológico de Gas. El equipo se complementó con expertos en temas energéticos, financieros, legales, soporte tecnológico y tecnologías de información y comunicación (TIC).

En este proyecto se revisaron diferentes iniciativas internacionales, la experiencia en investigación y desarrollo tecnológico en el país y documentos que sugieren la importancia de llevar adelante esta iniciativa. Como resultado de este trabajo se cuenta con los lineamientos de una propuesta de observatorio de energía para Colombia (OEC) en las dimensiones organizacional, técnica y financiera, que podría ser liderada desde la UPME acorde con los desarrollos futuros de su estructura y de los mandatos del Plan Nacional de Desarrollo y del documento Conpes 3934, Política de Crecimiento Verde. El Plan Energético 2050, desarrollo del Ideario publicado en 2015, que está en revisión para incorporar los comentarios recibidos después de su publicación en enero de este año, deberá revisar esta iniciativa.

La propuesta del observatorio responde a las necesidades presentes y futuras del sector energético. Se prevé obtener los recursos para poner en marcha esta iniciativa a partir del año 2022 con miras a ser una entidad clave para el seguimiento de las tendencias y escenarios energéticos, tanto a nivel mundial como regional y nacional. Igualmente, para

[58] Upme, 2018. Observatorio colombiano de energía, Notas introductorias.

el monitoreo de factores relacionados con el impacto de la energía en la sociedad en su conjunto, así como también para la vigilancia de las nuevas tecnologías a lo largo de la cadena energética, la construcción y desarrollo de indicadores y el análisis y difusión de resultados como elementos para la toma de decisiones de los actores de interés.

Propuesta de programas de acción

En esta sección se proponen algunos programas de corto y mediano plazo que podrían acelerar la recuperación de la economía y la generación de empleo a partir del conocimiento y las capacidades tecnológicas que se han acumulado en el país y que se resumieron en la sección anterior. Para el largo plazo se pueden identificar líneas prioritarias acordes con la visión energética a 2050, las expectativas de los grupos de investigación y el conocimiento acumulado de por varios años de trabajo.

Corto plazo

1. *Programa de despliegue de medición inteligente.* Aunque la Misión de Transformación Energética recomienda un despliegue prudente, soportado en análisis beneficio-costo, empresas del clúster de Suroccidente y seguramente otras piensan que un despliegue de sistemas de medición podría generar una actividad interesante alrededor de la fabricación de componentes y medidores y generar empleo adicional en la instalación de los equipos.

2. *Programa de diseño de soluciones para el suministro de energía eléctrica y térmica en áreas rurales*. El diseño de soluciones individuales o de microrredes para zonas rurales puede ser realizado de manera ordenada con el apoyo de tesis de pregrado y maestría debidamente coordinadas. Para esto se requiere contar con equipos de ingeniería en las universidades, ojalá aquellas vinculadas a los PERS, y el apoyo de la UPME, el IPSE y el Ministerio de Minas y Energía. Las soluciones que se diseñen deberían incorporar, además de los aspectos energéticos, los de agua con sistemas SUDS y telecomunicaciones. Más de 1,6 millones familias aún siguen cocinando con leña en Colombia[59]. Varias tecnologías para la producción de biogás han sido desarrolladas a partir de residuos agrícolas, agroindustriales o urbanos. Programas rurales de biodigestores familiares de bajo costo podrían implementarse para la generación de energía térmica en hogares para cocción a partir de biogás.

3. *Visibilidad de la red de distribución con aplicaciones que soporten los análisis de conexión de recursos distribuidos*
4. *Programa de bicicletas y motocicletas eléctricas para la movilidad*
5. *Infraestructura para la movilidad eléctrica*
6. *Programas de respuesta de la demanda*
7. *Asesoría y educación para eficiencia energética industrial, comercial, residencial y en el sector transporte*
8. *Nuevas líneas de negocio para la fabricación de componentes auxiliares como inversores, controladores de carga, ensamblaje de componentes, etc*. En relación con los sistemas de generación, almacenamiento y control, se plantea aprovechar la infraestructura de algunas mipymes del sector energético para la consolidación y ensamble de paneles solares a pequeña escala, impulsando a las comunidades para que fabriquen sus propios sistemas. La experiencia de países como la India en programas como "mujeres ingenieras solares"[60] es un claro ejemplo de

[59] Entrevista al presidente de Ecopetrol Felipe Bayón, Estrategy+business, mayo 16 de 2020.
[60] https://www.barefootcollege.org/

empoderamiento que podría constituir modelos de desarrollo sostenible en comunidades para aportar a la generación distribuida. Implementación de nuevas líneas de negocio en mipymes para la fabricación de inversores, controladores de carga y sistemas de comunicaciones mediante el desarrollo de *hardware* local de sistemas de alimentación, control digital y filtrado de señales.

9. *Desarrollo de modelos y herramientas para la evaluación de medidas y para soportar la toma de decisiones en el post-covid-19*

Mediano plazo

1. *Diseño e implementación de microrredes para áreas rurales y urbanas.* Aprovechamiento y uso de algoritmos de optimización desarrollados localmente para la gestión de la potencia y la energía, además de la implementación de metodologías propias para el dimensionamiento de microrredes.
2. *Diseño de estrategias de operación inteligente mediante control centralizado y distribuido, supervisión y gestión remota*
3. *Programa de ensamble y fabricación de soluciones "pay as you go" y sistemas solares con respaldo de almacenamiento en baterías*
4. *Programa de fabricación y mantenimiento de vehículos eléctricos*
5. *Integración de sistemas multienergía (gas, electricidad, transporte)*
6. *Implementación de sistemas industriales para la generación de biogás y biocombustibles a partir de residuos urbanos y de la agroindustria*
7. *Programa para el aprovechamiento de materiales locales y adición de alto valor agregado para su transformación en dispositivos de generación y almacenamiento de energía.* Beneficio de minerales y adición de alto valor agregado mediante su trasformación y funcionalización para ser aprovechados en la fabricación local de dispositivos avanzados para la generación de energía solar térmica y fotovoltaica y de almacenamiento en baterías.
8. *Generación hidráulica e hidrocinética a pequeña escala.* Sistemas de generación distribuida operados por los entes territoriales aprovechando pequeñas caídas de agua o la velocidad de los ríos mediante turbinas hidrocinéticas sumergidas.
9. *Diseño e implementación de sistemas de generación híbridos eólico-solar en regiones de gran potencial del país.* Regiones como la costa atlántica, en particular La Guajira, han demostrado tener un gran potencial eólico con velocidades promedio de viento de 9 m/s y un promedio diario multianual de radiación solar de 6,0 kWh/m^2, valores de referencia muy superiores a los que presentan muchos otros países líderes en el desarrollo e implementación de estas tecnologías. Esto posibilita el diseño y la implementación de sistemas híbridos descentralizados y que contribuyen a la diversificación de la matriz energética.
10. *Desarrollo de modelos y herramientas para la evaluación de medidas y para soportar la toma de decisiones hacia la transición energética*

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ALTOS ESTUDIOS LEGISLATIVOS (CAEL)

2020