

Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050

Serie de divulgación - Volumen X
Dirección de Planificación
Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay



Hacia una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050

*Serie de divulgación - Volumen X
Dirección de Planificación
Oficina de Planeamiento y Presupuesto*

Presente y futuro de las energías renovables en Uruguay



Dirección de Planificación

Torre Ejecutiva Norte
Plaza Independencia 710, 6to piso
Montevideo, Uruguay
Teléfono: (+598-2) 150 int. 3560
Correo: planificacion@opp.gub.uy
Sitio web: www.opp.gub.uy

Montevideo, marzo de 2019.

© Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Coordinación general:

Fernando Isabella
Carolina Da Silva

Redacción:

Pablo Aguirregaray

El presente documento es un producto de la Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP), basado en el producto de la consultoría desarrollada por ERGO y la Universidad de Externado (Colombia).

Se agradece especialmente la participación y aportes de: Nicolás Castromán y Wilson Sierra (DNE/MIEM), Enzo Coppes y Julián Malcón (UTE) y la de los y las participantes de los talleres prospectivos.

Los contenidos del documento son considerados por la OPP como insumo para el debate ciudadano, y no reflejan necesariamente la opinión de las instituciones y expertos que participaron del proceso de elaboración del presente estudio prospectivo.

La OPP, se reserva todos los derechos. El contenido de esta publicación puede reproducirse parcial o totalmente sin previa autorización, siempre y cuando se mencione la fuente y no se use para fines comerciales.

Corrección: Ariel Collazo

Diagramación y diseño: Jorge Arévalo

Impresión: CMIMPRESOS – Depósito legal: 373.868

Edición amparada al decreto 218-996.

Presidencia de la República Oriental del Uruguay

Tabaré Vázquez
Presidente

Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Álvaro García
Director

Santiago Soto
Subdirector

Dirección de Planificación

Fernando Isabella
Director



Índice de contenido

Prólogo	7
Introducción	9
I. Prospectiva estratégica en energías renovables	11
II. Trayectoria reciente de las energías renovables en Uruguay y el mundo	14
II.1. Tendencias internacionales.....	14
II.2. Diagnóstico prospectivo: la evolución reciente de las energías renovables en Uruguay y sus desafíos a futuro.....	16
Política energética 2005–2030: antecedentes, contenidos e instrumentos de promoción de las energías renovables en Uruguay.....	19
Energía eólica.....	21
Biomasa.....	21
Energía solar fotovoltaica.....	22
Energía solar térmica.....	23
Energía hidráulica.....	23
Microgeneración.....	24
Biocombustibles.....	24
Algunos desafíos a futuro para el desarrollo de las energías renovables en Uruguay.....	25
III. Prospección tecnológica: una mirada prospectiva a la I+D aplicada a las energías renovables	30
III. 1. I+D aplicada a las energías renovables.....	30
III.2. Prospección tecnológica: estudio de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva de las energías renovables.....	32
Hoja de ruta tecnológica 1: Energías renovables y sostenibilidad I.....	33
Hoja de ruta tecnológica 2: Energías renovables y sostenibilidad II.....	34
Hoja de ruta tecnológica 3: Distribución y sistemas de transmisión de energía de alto voltaje.....	36
Hoja de ruta tecnológica 4: Energía de biomasa.....	37
Hoja de ruta tecnológica 5: Energía eólica.....	38
Hoja de ruta tecnológica 6: Energía solar fotovoltaica.....	39
IV. Escenarios de las energías renovables del Uruguay al 2050	42
Escenario 1: Uruguay del conocimiento.....	46
Escenario 2: Uruguay alta performance.....	46
Escenario 3: La Suecia de América.....	47
Escenario 4: Casi inverosímil.....	47

V. Escenario «apuesta»: Uruguay alta performance.	48
V.1. Eventos de tendencia moderada	50
Hipótesis 1: Generación de productos y servicios de alto valor agregado por parte de las empresas públicas, como referentes para el mercado regional	50
Hipótesis 6: Adquisición de conciencia de priorización de los criterios de sostenibilidad, por parte de un alto porcentaje de la población	50
Hipótesis 5: Normas ambientales alineadas con las mejores normas internacionales conductoras del comportamiento futuro de la industria	51
V.2. Eventos de tendencia débil	51
Hipótesis 2: Significativa inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación por parte tanto del sector público como del privado, en un marco de asociación regional e internacional	51
Hipótesis 4: Viviendas energéticamente resilientes para un muy alto porcentaje de los hogares vulnerables	52
V.3. Evento de duda	53
Hipótesis 3: Generación de productos y servicios de alto valor agregado, por parte de las empresas privadas nacionales, en tanto referentes para el mercado regional	53
VI. Mapa estratégico: lineamientos para alcanzar el escenario meta	54
VI.1. Lineamiento estratégico 1: tecnologías del futuro	54
Energías renovables y sostenibilidad	54
Distribución y transmisión	54
Energía eólica	55
Energía de biomasa	55
VI.2. Lineamiento estratégico 2: rol estratégico de las empresas públicas	56
VI.3. Lineamiento estratégico 3: generación de investigación, desarrollo e innovación(I+D+i)	56
VI.4. Lineamiento estratégico 4: capacidades de producción de bienes y servicios	57
VI.5. Lineamiento estratégico 5: desarrollo social	57
VI.6. Lineamiento estratégico 6: marco ambiental	57
VI.7. Lineamiento estratégico 7: cultura de la sostenibilidad	58
VII. A modo de conclusión	60
Anexo 1. Listado de expertos participantes	61
Anexo 2. Mapa de tendencias tecnológicas en energías renovables	63

Prólogo

Nuestro país ha vivido en los últimos años una transformación fundamental para las próximas generaciones de uruguayas y uruguayos.

Ha dado pasos significativos y transformado la matriz energética hacia una presencia mayoritaria de las energías renovables, ratificando el camino hacia la sostenibilidad ambiental.

Esta apuesta ha estado basada sobre un consenso político y social que ha involucrado a todos los actores del sector energético, decisores políticos y sociedad civil, plasmado en la Política Energética 2005–2030. Ello demuestra claramente que es posible construir consensos y planificación estratégica para impulsar aquellas políticas públicas que atienden factores clave para el desarrollo del país.

La transformación de la matriz energética ha implicado también un reimpulso de las inversiones en infraestructura, concretamente en generadores eólicos y paneles fotovoltaicos que ya forman parte del paisaje uruguayo, y el desarrollo de un mercado que ofrece hoy oportunidades para los emprendimientos de suministros, servicios de mantenimiento y consultoría, y nuevas opciones de capacitación técnico–profesional.

El desafío de pensar en el largo plazo ha sido asumido con mucho entusiasmo por el equipo de la Dirección de Planificación de la OPP. Esperamos que este informe aporte a generar una mirada para los próximos treinta años de desarrollo de la matriz energética y de generación de valor a su alrededor, aportando insumos para las definiciones estratégicas y programáticas que nos continúen situando como una referencia internacional en el recurso a energías más limpias para el desarrollo sostenible.

Álvaro García



Introducción

El abastecimiento energético está íntimamente ligado al desarrollo, ya que no solo genera impactos en la economía y la industria, sino sobre la sociedad en su conjunto. Históricamente, el desarrollo energético de los países ha permitido mayores niveles de productividad y de calidad de vida de la población, traducidos en un incremento del bienestar social.

Por ello, Naciones Unidas ha definido al acceso universal a un nivel asequible, confiable y sostenible de energía como uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) hacia 2030. Este objetivo se considera fundamental para el logro de los otros ODS y constituye uno de los ejes fundamentales para hacer frente a los desafíos del cambio climático. En efecto, la composición de la matriz energética tiene un impacto determinante en el ambiente, así como en la capacidad de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, compromiso asumido por la comunidad internacional en el marco del Acuerdo de París sobre cambio climático.

El incremento poblacional a nivel mundial, el crecimiento de las economías en desarrollo y los procesos globales de urbanización han generado un aumento de la demanda energética, tanto para electricidad como para transporte, que se prevé aumente en un 30 % para 2040, según el *World Energy Outlook* de 2017 de la Agencia Internacional de Energía. Ello genera grandes desafíos para que el incremento no se traduzca en una mayor presión sobre el ambiente.

En este contexto, el acceso asequible a distintas fuentes de energía y, en especial, el desarrollo de fuentes de energía renovables surgen como una respuesta a esos desafíos y como una vía de garantizar la seguridad y eficiencia energéticas y, con ello, el desarrollo sostenible.

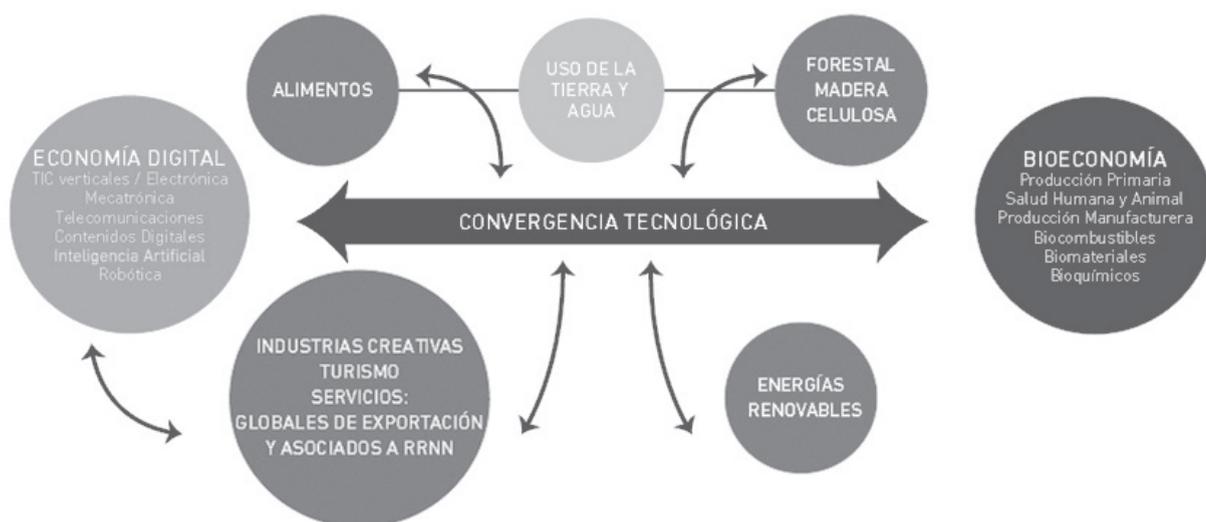
Uruguay, a partir de la Política Energética 2005–2030 primero aprobada por decreto del Poder Ejecutivo en 2008 y luego acordada de forma interpartidaria, ha sido pionero en las acciones tendientes a incorporar fuentes de energía renovables. Mediante sus resultados, ha logrado disminuir la dependencia internacional, la incertidumbre a nivel de precios y los efectos generados en el ambiente. Gracias a dicha política, la matriz energética primaria del Uruguay en 2017 estuvo compuesta por 63 % de fuentes renovables.¹ Tomando en cuenta solamente la generación de electricidad, el 95 % de los insumos para dicha generación fue de origen renovable.² De esta manera, el país se ha alineado con respecto a las tendencias internacionales en la implementación de una matriz energética con preponderancia de las energías más amigables con el medio ambiente y con mayor beneficio social.

Dado el rol preponderante que tienen estos cambios en la matriz energética para el desarrollo sostenible del país, el de las energías renovables fue priorizado por la Dirección de Planificación de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) como uno de los complejos productivos estratégicos a estudiar en el marco de la elaboración de una Estrategia Nacional de Desarrollo, Uruguay 2050.

1 DNE-MIEM. *Balance energético Nacional 2017*.

2 *Íbidem*.

Figura 1. Complejos productivos priorizados por la Dirección de Planificación de la OPP



Fuente: DP/OPP.

En estos complejos, con potencial transformador de la estructura productiva nacional, la Dirección de Planificación está realizando una serie de estudios de carácter prospectivo donde se analizan aspectos productivos, tecnológicos, ambientales, laborales y territoriales con el objetivo de identificar escenarios alternativos de futuro. El objetivo es generar insumos para la definición de lineamientos estratégicos que garanticen un proceso de desarrollo sostenible a largo plazo.

En esta publicación se presentan los resultados del estudio prospectivo *Energías Renovables en Uruguay al 2050* llevado adelante por la Dirección de Planificación en coordinación con la Dirección Nacional de Energía (DNE) del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y la empresa estatal Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE). Estas tres instituciones conformaron la gobernanza del proceso prospectivo que se inició en mayo de 2017 con el diagnóstico de la situación de partida y finalizó en setiembre de 2018, con la validación del mapa estratégico por parte de las instituciones. El estudio buscó analizar los cambios de la matriz energética nacional, con foco en el sector eléctrico, y sus efectos a futuro, así como las tendencias internacionales del sector energético de forma de anticipar escenarios posibles.

En el primer capítulo, se presenta un resumen del proceso metodológico empleado en este estudio. En el segundo, se realiza un breve análisis de la trayectoria reciente de las energías renovables, las tendencias mundiales y la situación en Uruguay a partir de la implementación de la Política Energética 2005–2030. En el tercer capítulo, se aborda el estudio de prospección tecnológica llevado adelante con foco sobre la investigación, el desarrollo y la innovación en el sector. En el cuarto, se presentan los escenarios prospectivos elaborados en el estudio. El objetivo es identificar, entre ellos, cuál se conforma en un escenario meta o escenario apuesta con capacidad para alinear el mapa estratégico del sector. Y en el quinto capítulo se analiza el escenario elegido junto a los actores participantes del proceso como «apuesta». En el capítulo sexto, se presenta el mapa estratégico elaborado para alcanzar el escenario apuesta. Los lineamientos estratégicos que se identifican son objetivos y acciones por medio de las cuales se comenzará desde ahora a labrar el escenario por el cual apostamos y se asocian con una serie de proyectos que fueron priorizados en este marco. El último capítulo introduce conclusiones generales del estudio y algunos desafíos a futuro.

I. Prospectiva estratégica en energías renovables

El planeamiento estratégico basado en la prospectiva supone un proceso sistemático y participativo que recoge la concepción del futuro de los distintos actores y construye visiones a medio y largo plazo, con el objetivo de movilizar acciones conjuntas en el presente. El proceso se lleva adelante utilizando dos tipos de fuentes de información: secundarias y primarias. Las fuentes secundarias son las bases de datos y los documentos existentes referentes al sector. Las fuentes primarias están constituidas por los grupos de expertos, y por un *focus group* o círculo restringido, con quienes se llevan a cabo los talleres de reflexión y de análisis que

se explican más adelante. El método persigue combinar la medición objetiva y cuantitativa de los fenómenos con la lectura que los grupos implicados hacen de la realidad.

Durante este proceso se realizaron diversas instancias de trabajo participativas con expertos³ en el área de las energías renovables, provenientes del sector público, privado y académico que se resumen en la figura siguiente. En el Anexo I se incluye el listado de participantes de estas instancias.

Figura 2. Instancias de trabajo participativas del proceso prospectivo



Fuente: elaboración propia.

La metodología de trabajo de la Prospectiva Estratégica comienza con un análisis de tendencias que están determinando el devenir del objeto de estudio y con un diagnóstico de partida, profundo y acordado con los actores clave (en el siguiente capítulo se presenta un resumen de este diagnóstico prospectivo). En

este caso, dadas las características del sector, se incorporó un análisis de prospección tecnológica con el objetivo de identificar la agenda de investigación y desarrollo internacional de las tecnologías aplicadas a las energías renovables priorizadas para Uruguay (los resultados de este análisis se presentan en el capítulo III).

³ Estos «expertos» son personas que, por su formación profesional o académica o por su inserción social o laboral, tienen información relevante sobre el tema.

Con estos insumos, la etapa propiamente prospectiva consiste en la determinación de los factores de cambio⁴ de las tendencias relevadas y la priorización de las variables estratégicas⁵ que definirán las configuraciones futuras del sector. En este estudio fueron identificados, durante

el primer taller con expertos en torno de los «puntos críticos» del estado del arte del sector, los factores de cambio presentados en la figura 3, agrupados en cinco categorías: económicos, culturales, ambientales, políticos y sociales.

Figura 3. Factores de cambio para las energías renovables en Uruguay al 2050

Factores Económicos	Factores Culturales	Factores Ambientales	Factores Políticos	Factores Sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Costo de la tecnología a pequeña y gran escala • Inversión extranjera • Rol estratégico de las Empresas Públicas • Gestión de excedentes energéticos • Contemplación de externalidades y ciclo de vida de productos • Capacidad nacional de producción de bienes y servicios • Hallazgo de petróleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Percepción de las renovables en relación a su desempeño ambiental por parte de la sociedad • Cultura de la economía circular 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Naturales • Cambio Climático 	<ul style="list-style-type: none"> • Integración regional de capacidades • Políticas de generación de I+D • Acuerdo interpartidario • Fortalecimiento del vínculo entre empresa, academia y sector público • Cambio y Control de normas ambientales • Definiciones sobre uso del territorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo social

Una vez definidos estos factores, se pidió a los expertos que los priorizaran en función de su importancia respecto del sector de las energías renovables. Con el listado de factores priorizados, se buscó una estructura lógica de causalidad, poniendo de relevancia la influencia que algunos de los fenómenos ejercen sobre otros. A tal efecto, se desarrolló un análisis estructural de impactos cruzados que permite configurar una percepción sistémica y definir las variables estratégicas en función de su motricidad y dependencia.⁶ A su vez, el análisis estructural permite ordenar los factores en cuatro categorías según la fuerza de su impacto causal: alta, mediana, baja o muy baja.

Los factores de más alta causalidad, pero baja gobernabilidad, corresponden a fenómenos de muy alta importancia para la vida del sector, aunque en general exógenos a él. En este estudio se definieron las siguientes:

- el cambio climático,
- la posibilidad de hallazgos petroleros,
- el costo de la tecnología a pequeña y gran escala.

Estos factores, por su parte, afectan otros seis: fortalecimiento del vínculo entre empresa, academia y sector público; percepción (positiva o negativa) de las renovables en relación con su desempeño ambiental por parte de la sociedad; capacidad nacional de producción de bienes y servicios; gestión de excedentes energéticos; uso del territorio y contemplación de externalidades por parte de la población.

Las variables estratégicas que sirven de base conceptual para las etapas siguientes del análisis prospectivo deben caracterizarse por hacer coincidir la motricidad con la dependencia.

4 Los *factores de cambio* recogen los puntos críticos del estado del arte en el tema e involucran nuevos fenómenos que van a permitir reconocer las condiciones de las energías renovables del futuro.

5 Las *variables estratégicas*, dispuestas en un contexto donde juegan los principales elementos del comportamiento tecnológico, económico, social, cultural, ambiental y político de sector, provienen de los factores de cambio y son los elementos que van a servir de puntal y soporte para llevar a cabo la exploración del futuro.

6 La *motricidad* es el impacto que una variable ejerce sobre las demás. La *dependencia* se define como la subordinación de una variable con respecto a las restantes.

De esta manera, relacionamos la influencia que ejercen con la gobernabilidad (que, como se adelantó, equivale a la dependencia) que las instituciones que componen el sector de energías renovables, y particularmente las que integran la gobernanza de este estudio, tendrían sobre ellas. Con este criterio, las variables estratégicas seleccionadas son las siguientes:⁷

- a. Desarrollo social
- b. Normas ambientales
- c. Rol estratégico de las empresas públicas
- d. Cultura de sostenibilidad
- e. Capacidades de producción de bienes y servicios
- f. Generación de I+D+i

Estas variables merecen ser leídas integrando un contexto sistémico de causalidad, con el objeto de respetar los principios de contextualidad y complejidad sobre los que reposa la prospectiva estratégica. Estas condiciones se pueden observar en el esquema siguiente donde las variables estratégicas están ordenadas según las interrelaciones de causa y efecto, constituyendo un todo dentro del cual sus elementos son solidarios e interdependientes. En efecto, el rol de las empresas públicas, sumado al acceso a las tecnologías del futuro y su costo, al apoyo en la generación de investigación, desarrollo e innovación y a la capacidad de producción local de bienes y de servicios, constituyen un conjunto de fenómenos que afectan el desarrollo social concebido dentro de una cultura de sostenibilidad. Todo esto, a su vez, está sujeto a la normativa ambiental y al acuerdo interpartidario sobre la política energética y a las políticas públicas que se generan en ese marco.

Figura 4. Esquema lógico de variables estratégicas para las energías renovables en el Uruguay al 2050



Una vez acordadas las variables estratégicas, y luego de la elaboración de hipótesis de futuro de estas variables y, de la articulación lógica de estas hipótesis, surgen los escenarios alternativos de futuro, posibles y probables.

En el capítulo IV se presenta con mayor detalle el proceso de elaboración de los cuatro escenarios que se identificaron en el marco de este estudio.

⁷ Cabe mencionar que, a pesar de priorizar estas variables, el resto de los factores también formarán parte de los escenarios, principalmente por su complementariedad con las variables clave, y su importancia a la hora de elaborar las estrategias.

II. Trayectoria reciente de las energías renovables en Uruguay y el mundo

En este capítulo se introducen en términos generales las tendencias mundiales del sector energético, en primer lugar, y luego se presentan los principales resultados del análisis de situación actual del sector en Uruguay.

II.1. Tendencias internacionales

A nivel mundial, se estima que la proporción de energías renovables en la oferta energética se encontraba en el entorno de 15% en el año 2015, y que en el 2050 se llegaría a dos tercios del total, según datos de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). China aumentaría la proporción de energías renovables en su uso energético, de 5 % en 2015 a 69 % en 2050, y la Unión Europea, podría aumentar de 13 % a más de 74 % en el mismo periodo. Este crecimiento estaría determinado por el desarrollo de las energías eólica y solar así como por la masificación del uso de vehículos eléctricos, disminuyendo la dependencia del petróleo y sus derivados. En efecto, según las estimaciones de IRENA, los vehículos eléctricos pasarán de 1,24 millones a 965 millones de unidades, entre 2015 y 2050.

En el sector del transporte, según la misma fuente, la estructura del consumo de energía pasaría de 96 % de fuentes no renovables a solamente 42 %. Además, ese 58 % de energía renovable estaría compuesto por energía eléctrica de origen renovable, hidrógeno y un 22 % de biocombustibles y biogás.

La industria es uno de los sectores de mayor rezago en la adopción de energías renovables, en tanto responsable por un tercio de las emisiones a nivel mundial. La transición hacia fuentes renovables generará importantes efectos.

La biomasa jugará un rol preponderante en la energía consumida por la industria, desde un 7 % de participación a un 19 % en el año meta, y la electricidad representará 42 % (respecto del total, la electricidad de origen renovable representaría un 36 % en 2050, cuando en 2015 fue 7 %).

Para la generación de electricidad a nivel mundial, los cambios serán más notables. De 76 % de fuentes no renovables se pasará a 15 %, prácticamente desapareciendo la generación de electricidad con carbón y petróleo (que solo representará el 1 % a nivel mundial). En el caso de las fuentes renovables, habrá un aumento en términos absolutos de la electricidad de origen hidráulico y principalmente de la energía eólica y solar fotovoltaica. Esto disminuirá las emisiones a una sexta parte de lo generado en 2015.

Finalmente, existe un consenso a nivel mundial de que esta transición hacia una matriz energética con mayor presencia de energías renovables y un uso más eficiente de la energía constituirá un pilar fundamental para mitigar los efectos del cambio climático. Conjuntamente, estas medidas podrían proveer más del 90 % de las reducciones de emisiones de CO₂ requeridas para llegar a los compromisos asumidos.

Además, una transformación energética mundial en este sentido generaría una reducción significativa en los costos asociados con la polución del aire, las condiciones de salud y en general con el daño ambiental. IRENA estima que el ahorro de costos en estas áreas puede ser aproximadamente de seis trillones de dólares anuales hacia 2050.

Recuadro 1. Principales impulsores de ventajas competitivas en el sector de manufactura de módulos fotovoltaicos, aerogeneradores y celdas de iones de litio

China se presenta como la sede manufacturera mundial de las tecnologías fotovoltaicas y se estima que alcanzará en pocos años una similar posición de liderazgo mundial en el sector manufacturero de celdas de iones de litio. Mientras que en el período comprendido entre 1997 y 2008, el 20–30 % de los paneles fotovoltaicos mundiales se produjeron en Europa, esta proporción cayó al 5 % o menos en el período comprendido entre 2011 y 2013. Las ventajas competitivas de China provienen por un lado de sus fuertes incentivos estatales para el sector manufacturero fotovoltaico, así como en la clara definición de metas establecidas en las planificaciones quinquenales.

Si China alcanza la meta propuesta, la capacidad instalada en China sería equivalente al 50 % de la capacidad fotovoltaica instalada en el mundo a finales de 2016. China posee también varios clústeres y parques industriales estratégicos para el sector ubicados en el delta del río Yangtsé, sobre la zona de Shanghái y partes de las provincias al suroeste. Otro factor relevante está dado por la débil reglamentación medioambiental de China, en comparación con otros países que también fabrican módulos fotovoltaicos (por ejemplo, países de la Unión Europea o Japón) lo que representa una ventaja competitiva para dichas empresas, a partir de un costo social y medioambiental no incorporado ni al costo de la fabricación de los módulos ni a su precio final en el mercado mundial, cuando compite con productos de otros países.

En Europa y Estados Unidos también se observa una tendencia de los sectores de producción de las últimas tecnologías a la integración de clústeres, especialmente en lugares con infraestructura manufacturera existente y mano de obra calificada disponible. Este efecto se observa en el sector manufacturero de fibra de carbono (un insumo importante para componentes de aerogeneradores), que suele localizarse cercano a ejes manufactureros de componentes de la nueva generación del sector de transporte (por ejemplo, automóviles y naves aéreas de última generación) para poder aprovechar de la infraestructura y proximidad con otras fuentes de insumos.

Los sectores manufactureros de aerogeneradores de Estados Unidos y países europeos como Dinamarca y Alemania crecieron inicialmente para poder abastecer la demanda a nivel de país y de región. Dichos fabricantes recibían apoyo estatal en la forma de incentivos para la producción de energía eléctrica de origen eólico, beneficios fiscales para inversiones en parques eólicos, y apoyo político a través de metas a nivel estatal o nacional para la creciente incorporación de energía renovable en sus matrices energéticas. Los sectores manufactureros eólicos de Brasil y China alcanzaron una escala de capacidad de fabricación interesante debido en parte a similares políticas de promoción de la energía renovable. En el caso de Brasil, además de apoyo estatal, hay reglamentaciones nacionales que exigen mínimos de contenido nacional para ciertos componentes de los aerogeneradores.

Para el sector de celdas de iones de litio, Japón ha sido el país vanguardista en el desarrollo de esa capacidad manufacturera en la década de los noventa: proveyó capitales de bajo costo, apoyo a la investigación y desarrollo privados y estimuló la formación de clústeres con el fin de fomentar la industria electrónica de consumo. La misma estrategia fue utilizada por Corea del Sur y China a partir del 2000, y actualmente estos tres países continúan liderando el sector en el mundo.

II.2. Diagnóstico prospectivo: la evolución reciente de las energías renovables en Uruguay y sus desafíos a futuro

Cualquier sociedad tiene el desafío de ajustar la oferta energética a la demanda derivada de la dinámica de su economía, del cambio tecnológico y de los hábitos de su población. A su vez, debe encontrar una solución que minimice el costo de abastecimiento y el riesgo de escasez, contemplando los efectos derivados de la producción y consumo de bienes energéticos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Uruguay, en los últimos trece años, ha mostrado un incremento de los niveles de producción en varios sectores de la economía, acompañado de incrementos en el salario real, del empleo y de una fuerte reducción de la pobreza. Asimismo, ciertos bienes de capital y artículos de confort vieron reducido su precio en términos relativos (automóviles, motocicletas, celulares, equipos de aire acondicionado, etc.).

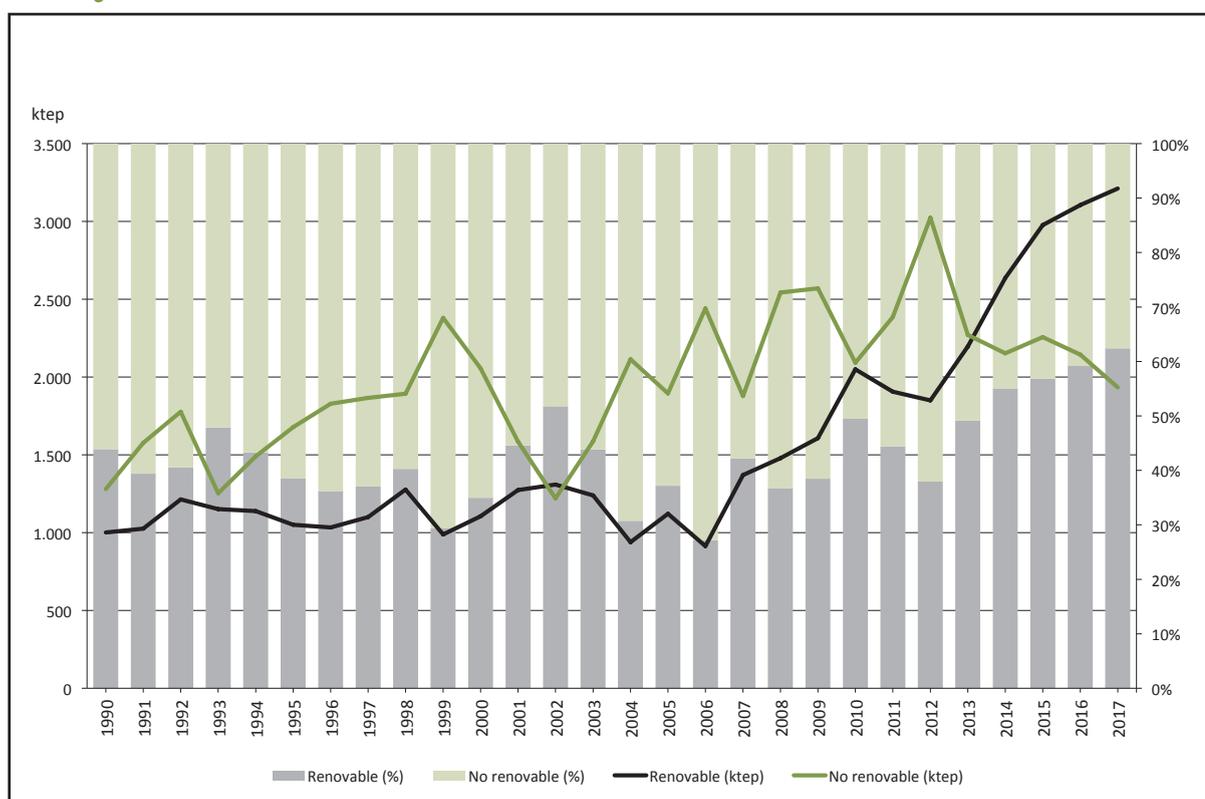
Este escenario se tradujo en un sensible aumento de la demanda energética. De acuerdo a datos de la DNE, la demanda de energía total

(considerando fuentes primarias y secundarias) en Uruguay llegó en 2015 a 4.639 KTEP (miles de toneladas equivalentes de petróleo). Si bien, comparado con 2016, el crecimiento fue solamente de un 1 %, analizando los últimos diez años de la serie de consumo energético, la tasa de crecimiento fue siempre positiva, con un promedio de 4 %. Además, desde 2005, el consumo energético casi se duplicó en el país.

En respuesta a lo anterior, el sector de la energía experimentó fuertes transformaciones, aún en marcha. Esos cambios fueron conducidos por sucesivos gobiernos, en el marco de un acuerdo interpartidario que tomó forma en la Política Energética Uruguay 2015–2030, lo que le otorga solidez y continuidad.

Las principales acciones llevadas a cabo en los últimos diez años para alcanzar las metas (de corto y largo plazo) implicaron el impulso a los energéticos renovables más adaptados a la realidad uruguaya (sin subsidios), la transformación estructural del sector eléctrico, el desarrollo de políticas de ahorro energético orientadas a la demanda de energía eléctrica, la sustitución parcial de combustibles fósiles por biocombustibles, la búsqueda de gas y petróleo propio.

Gráfico 1. Participación en abastecimiento de energía, por tipo de fuente (en KTEP y en porcentaje del total)

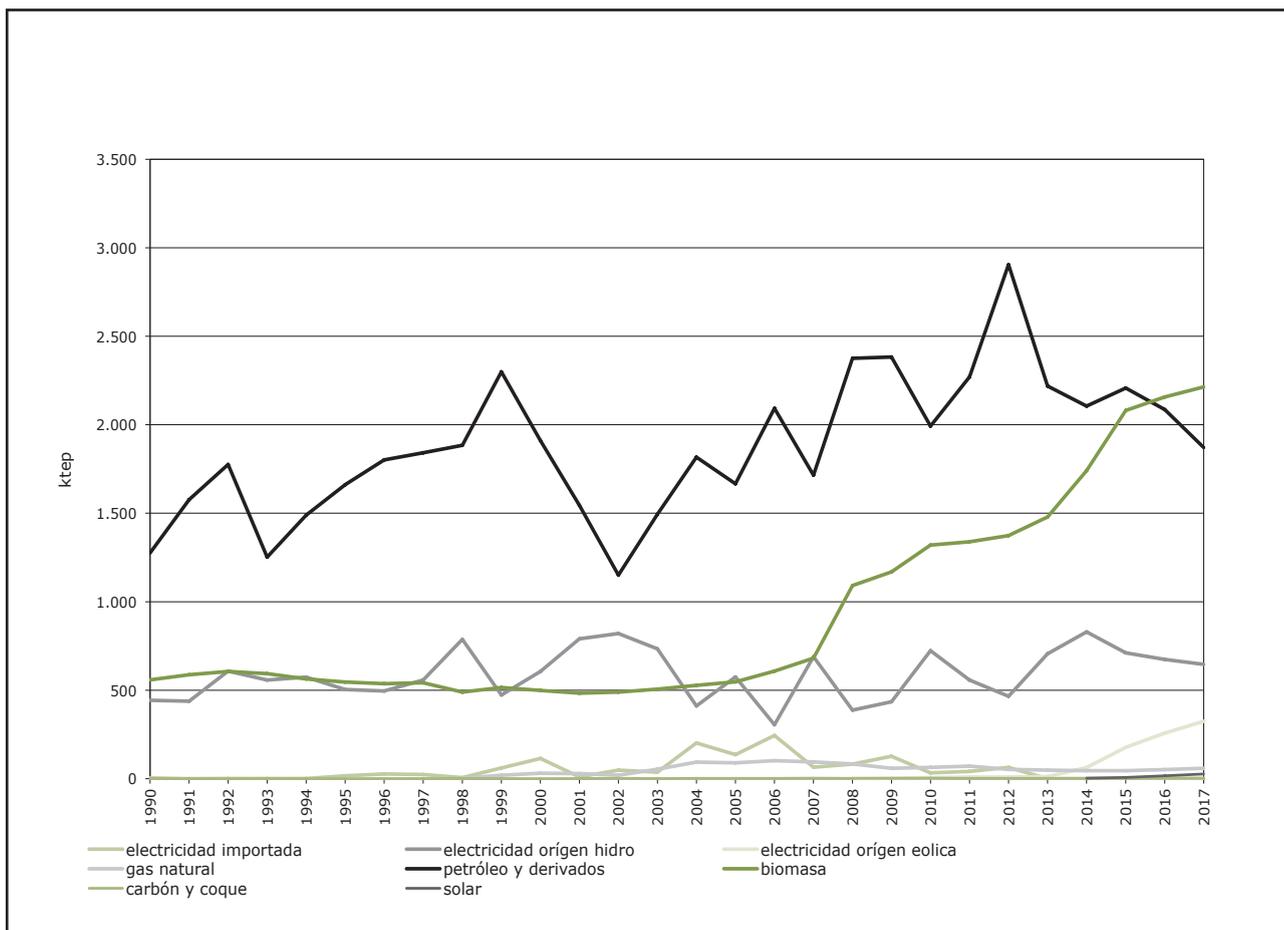


Fuente: BEN; DNE-MIEM.

Como puede verse en el gráfico, la participación de las fuentes renovables ha sido la mayor en la historia, con valores actuales superiores al 60 %. Esto se debe principalmente al crecimiento de la biomasa y la electricidad de origen eólico. Adicionalmente, como se ve

en el gráfico 2, en el abastecimiento de energía por fuente, el petróleo, con sus derivados, han caído en 2017 a niveles de 2007, cuando el abastecimiento total de la energía se encuentra aproximadamente 1.500 ktep por encima de ese año de referencia.

Gráfico 2. Participación en abastecimiento de energía, por fuente (en KTEP)

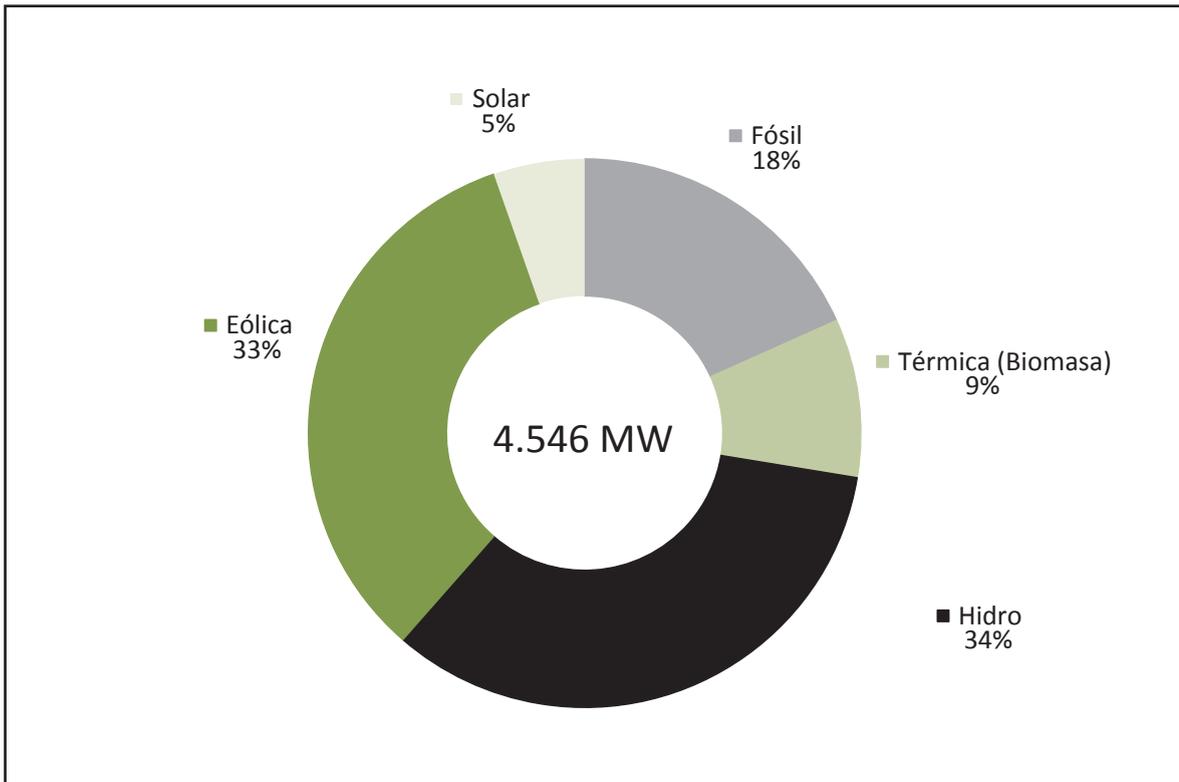


Fuente: BEN; DNE-MIEM.

Si se enfoca solamente en la potencia instalada para generación de electricidad, si bien la matriz tiene hace mucho tiempo un origen de renovables importantes en la central hidroeléctrica binacional de Salto Grande, la represa hidroeléctrica Gabriel Terra y la

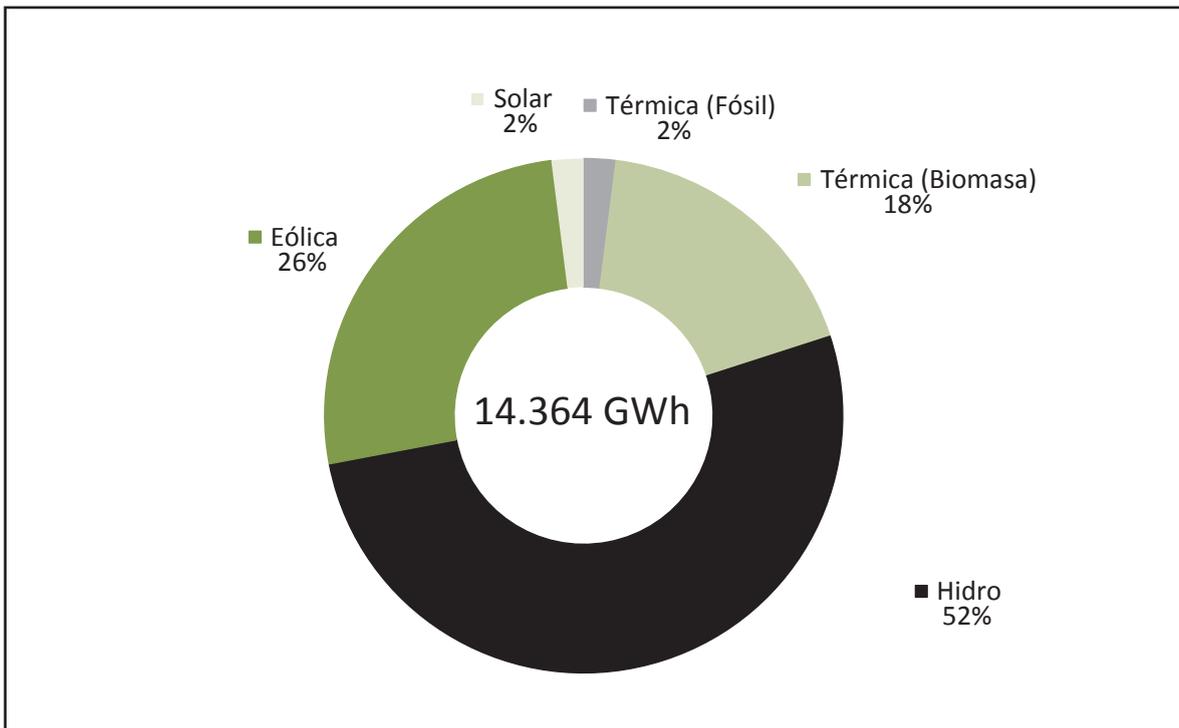
represa de Baygorria, desde 2012 la presencia de generadores eólicos provoca que solamente el 18 % de la potencia instalada sea de fuente no renovable. Y, en términos de generación eléctrica, durante 2017 solamente el 2 % de la energía generada fue de origen fósil.

Gráfico 3. Potencia instalada total como porcentaje del total en 2017



Fuente: BEN; DNE-MIEM.

Gráfico 4. Generación de electricidad por fuente como porcentaje del total en 2017



Fuente: BEN; DNE-MIEM.

En el próximo apartado se analizan los antecedentes institucionales que llevaron a la elaboración de la primera política energética nacional, así como los instrumentos de esta política que hicieron posible la transformación

de la matriz energética. Luego, se incluye un apartado con consideraciones generales sobre el desarrollo de las energías renovables en Uruguay y sus principales desafíos a futuro.

Política energética 2005-2030: antecedentes, contenidos e instrumentos de promoción de las energías renovables en Uruguay

En Uruguay y en la región latinoamericana, el manejo de la política energética estuvo ligado históricamente a las empresas públicas del sector. Las decisiones de inversión en infraestructura, las señales de precio dirigidas hacia el mercado y la visión estratégica nacional en lo que respecta a la energía, compartían espacio con las necesidades específicas de esas empresas y, frecuentemente, con las de la conducción política de turno. La regulación del mercado, integrado en un inicio por ANCAP y UTE como únicos productores e importadores de bienes energéticos y una demanda fragmentada en numerosos actores con capacidad de organización reducida o inexistente, era ejercida de hecho por las empresas públicas, quedando sujetas a la supervisión de la OPP y el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), en materia de tarifas y montos de inversión.

En la década de los noventa, el Poder Ejecutivo inició una serie de reformas en el contexto institucional del sector energético. Durante el gobierno del doctor Luis Alberto Lacalle, se realizó la licitación que otorgó a una empresa privada la distribución de gas de red en Montevideo. Por otro lado, en ese período se desarrolló la consultoría de la empresa SYNEX para OPP, que tenía como objetivo un diagnóstico del sector eléctrico y una propuesta de cambio regulatorio orientado a la desmonopolización del mercado, como primer hito de un proceso que culminó con la aprobación de la ley 16.832 (Actualización del Sistema Eléctrico Nacional y creación de la Unidad Reguladora de Energía Eléctrica), en junio de 1997. Los intentos de privatización del patrimonio de las empresas públicas encontraron varios obstáculos, interpretados por los partidos políticos como una defensa de las grandes empresas estatales por parte de la opinión pública, y ello desestimuló cualquier modificación en la estructura propietaria de UTE y ANCAP. Sin embargo, los intentos de reforma del sector inspirados en la lógica de mercado no se detuvieron. Si bien no existe un documento que

sistematice las líneas estratégicas que guiaron la política de los gobiernos en la década de los noventa, éstas pueden resumirse en:

- a. Acceso al capital privado en el sector energético como forma de superar las restricciones financieras del estado y su concentración en funciones consideradas esenciales. La participación de los privados se habilita como forma subsidiaria a las funciones tradicionales de las empresas públicas (concesión de obra pública), en actividades desmonopolizadas (generación de energía eléctrica) o en sociedad con las empresas públicas en nuevas actividades no alcanzadas por el monopolio legal de su giro.
- b. Apuesta al gas natural de origen argentino como una vía para resolver los problemas de competitividad de los sectores productivos, fruto de la apertura comercial característica de la década.
- c. Adecuación del marco normativo nacional a los requisitos del comercio internacional de bienes energéticos (en particular, para facilitar el punto anterior).
- d. Contribución al combate a la inflación a través del aumento de la oferta energética nacional (como consecuencia de todos los puntos anteriores) y, por ende, disminución de la importación de energía.
- e. Conservación del rol protagónico de UTE y ANCAP en el plano empresarial y, concomitantemente, fortalecimiento de la función regulatoria y planificadora del Poder Ejecutivo.

Cabe destacar que no aparecían como temas destacados la eficiencia energética o a la incorporación de las energías renovables en la agenda de la política energética.

A fuerza de la realidad impuesta por la coyuntura regional, en particular el giro de la política económica y comercial en Argentina luego de la crisis de 2001, que implicó un drástico descenso en las exportaciones de gas natural de ese país, los gobiernos uruguayos de principios de este siglo debieron atender la situación emergente que suponía un riesgo de abastecimiento y limitaba la expectativa de

recuperación de Uruguay. Simultáneamente, era necesario replantearse el rumbo de la política energética. En este contexto, se gesta la primera política energética nacional de largo plazo: comenzó en 2005, con el involucramiento de todos los actores públicos del sector, fue consensuada en una discusión que sentó sus bases y, luego en 2008, aprobada en Consejo de Ministros, para ser finalmente refrendada en 2010 por una comisión interpartidaria. La política energética 2005–2030 está compuesta por *lineamientos estratégicos, metas a alcanzar* (ordenadas en plazos), *líneas de acción y un análisis de situación permanente* del tema energético en el país, en la región y en el mundo.

Los lineamientos estratégicos constituyen el marco conceptual en que se encuadra la política y junto con las metas fueron concebidos para trascender al gobierno que las aprobó en 2008. En ese sentido, la política energética fue avalada

en 2010 por una comisión multipartidaria creada a instancias del gobierno de José Mujica, con representantes de todos los partidos con representación parlamentaria. El acuerdo zanja una discusión que se venía dando en las últimas dos décadas del siglo xx: el eje institucional define que el rumbo de la política no queda librado exclusivamente a las fuerzas del mercado, aunque las empresas privadas tendrán un espacio de participación en la actividad.

Los lineamientos también reflejan el impacto causado por la caída de los contratos de gas con Argentina. Como había sucedido en la década del setenta con las crisis petroleras que aceleraron las acciones para concretar la obra de Salto Grande, las restricciones en la remisión de gas natural argentino con destino a la producción eléctrica obligaron a orientar la mirada hacia la necesidad de asegurar la soberanía energética.

Recuadro 2. El decreto 77/006

Para alcanzar las metas fijadas por la política energética, fue instrumentado un conjunto de medidas mediante decretos y resoluciones ministeriales. La forma jurídica de mayor impacto estuvo dada por los decretos de exhortación a UTE a contratar potencia de fuente renovable.

El decreto 77/006 instruyó a UTE a celebrar contratos de compraventa de energía de fuente renovable por un total no mayor a 60 MW, inicialmente distribuida en forma equitativa entre tres fuentes: eólica, de biomasa y de pequeñas centrales hidroeléctricas. En caso de no alcanzarse ese cupo para algunas de las fuentes, la potencia remanente se distribuiría entre las restantes fuentes. El decreto 77/006 tuvo una clara intención exploratoria del interés del mercado en la generación a través de distintas fuentes. Además, aportó la primera expresión de la forma que adquiriría más adelante la reconversión del sector de generación de energía eléctrica en Uruguay: participación del capital privado a través de procesos competitivos, incentivos al desarrollo de componente nacional en la inversión y autorización a UTE para trasladar a tarifas lo que se interpretó en su momento como un sobrecosto para el sistema por la opción de las renovables. La convocatoria de UTE impulsada por el decreto 77/006 recibió ofertas por 26,5 MW de eólica (con un precio mínimo de USD 78/MWh y un máximo de USD 184/MWh) y 39,4 MW de biomasa con precios entre USD 78 y USD 100 por MWh. No hubo ofertas para generación desde pequeñas centrales hidroeléctricas. El decreto 77/006 marcó el futuro del sendero a seguir por la DNE en los años siguientes: apuesta, en una primera etapa, por la energía eólica y biomasa.

Este acierto estuvo atravesado en los años siguientes por un número importante de incertidumbres en torno de la generación con fuentes renovables no tradicionales, surgidas como los desafíos principales para la incorporación de eólica, biomasa y otras fuentes. El objetivo fue impulsar la inserción de las fuentes más convenientes en función del recurso autóctono, de la madurez de la tecnología, de los precios de la energía dentro de una coyuntura favorable para hacerlo sin subsidios, mediante una preparación del terreno en cuanto al marco normativo, técnico, financiero y de contratos de un modo claro y transparente.

Energía eólica

La inserción de la energía eólica es sin dudas el hecho de mayor relevancia no sólo para el sector eléctrico, sino para la matriz energética en su conjunto. En el año 2007, el Global Environment Facility (GEF), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la DNE acuerdan el lanzamiento del Programa de Energía Eólica en Uruguay (PEEU). El PEEU tuvo como objetivos principales levantar las barreras que hasta entonces frenaron el desarrollo de la energía eólica en el país y la instalación de un parque eólico como comprobación de la viabilidad de esa fuente dentro del sistema eléctrico.

En la DNE se entendió que era clave la formación de recursos humanos capacitados en el área específica de la energía eólica y la generación de información útil para la toma de decisiones, en particular el relevamiento del recurso eólico y la publicación de un mapa que mostrara el perfil de viento en Uruguay. El PEEU estuvo originalmente previsto para durar tres años, pero a la vista de la necesidad de la DNE de contar con una herramienta de apoyo para la implementación de los objetivos de la política energética, fue extendido hasta 2013 manteniendo el presupuesto vigente.

En 2009, se aprueba el decreto 403/009, que representa el salto de escala en relación con el aprovechamiento del recurso eólico nacional, porque encomienda a UTE la realización de procedimientos competitivos para la contratación de 300 MW eólicos, comenzando por 150 MW. En 2011, el decreto 159/011 completa esa convocatoria, con ligeros cambios a partir de lo aprendido con los primeros 150 MW. Posteriormente, el decreto 424/011 amplía esa convocatoria a las empresas que habían presentado ofertas, pero no resultaron adjudicatarias. Estos instrumentos fueron los pilares fundamentales para el desarrollo de la energía eólica en Uruguay. Sin embargo, UTE, en su rol de brazo ejecutor de la política energética, amplificó esas señales por la vía de la contratación directa, la ampliación de contratos preexistentes y la construcción de parques de su propiedad. Según datos de la DNE, en 2017 existía una capacidad instalada de 1.510 MW de potencia eólica en Uruguay, superando largamente las expectativas planteadas para el año 2018.

El suministro de datos de viento procedentes

de puestos de medida propios de UTE, además de la información sobre el recurso facilitada por la DNE en la primera convocatoria de 150 MW, impulsó análisis más profundos por parte de las empresas desarrolladoras y otorgó mayor seguridad respecto de la disponibilidad del recurso. Asimismo, los esquemas de contrato de tipo Power Purchase Agreement (PPA) con la estatal UTE proporcionaron seguridad en el retorno de una inversión a largo plazo y bancabilidad para la financiación del proyecto. Estos factores desembocaron en la participación de grandes empresas del contexto internacional (desarrolladores y fabricantes de aerogeneradores) en el mercado uruguayo, a diferencia de lo ocurrido en las primeras convocatorias, cuando los participantes fueron empresas locales o regionales con menor experiencia en el desarrollo y ejecución de proyectos.

Biomasa

Otro de los cambios de impacto mayor observado en la matriz energética estuvo asociado principalmente con la utilización intensiva de la biomasa como fuente de generación de energía eléctrica (leña, desechos forestales, licor negro, cáscara de arroz, bagazo de caña, residuos sólidos urbanos o industriales). Al inicio de este siglo, la biomasa no tenía participación en el parque generador de energía eléctrica. En 2014, esa fuente representó un 15 % de la matriz de abastecimiento de energía eléctrica y cerca del 8 % en 2015.

En los últimos diez años en Uruguay, a influjo de la expansión agrícola y forestal del país, se desarrollaron varias experiencias de generación de energía a partir de biomasa, que son incorporadas en el marco de los decretos promocionales para ese tipo de generación: decreto 77/006 y decreto 367/010, y a través de contratos directos con UTE. La ley Forestal 15.939 de 1987 había declarado de interés nacional la defensa, el mejoramiento, la ampliación, la creación de los recursos forestales, el desarrollo de las industrias forestales y, en general, de la economía forestal. En este marco, se desarrolló la actividad forestal-maderera en el país con el derrame de importantes cantidades de residuos aprovechables para generación eléctrica, en industrias intensivas en consumo energético como lo son los grandes aserraderos.

Esta situación fue aprovechada por la industria local, en el marco del decreto 77/006, para cogeneración de energía y venta de energía eléctrica a la red, con la instalación de 51,5 MW de potencia de generación a partir de biomasa forestal. Adicionalmente, en el curso de la misma convocatoria, fueron instalados 14 MW de potencia de generación a partir de cáscara de arroz, por la industria que procesa ese grano.

El desarrollo forestal abrió la puerta también a la instalación de plantas productoras de pasta de celulosa (UPM y Montes del Plata). La industria de la celulosa utiliza la madera como materia prima para su producto y obtiene como residuo el licor negro, con alto potencial para la generación eléctrica. El proceso productivo de la pasta de celulosa es muy intensivo en empleo de energía, de manera que la cogeneración eléctrica permite a las plantas cerrar el círculo productivo. Estas dos empresas suman una potencia instalada de 331 MW.

Fue emitido un segundo decreto promocional de generación a partir de biomasa, el 367/010, que estableció una lógica de tipo *feed-in tariff*⁸ para reconocer los costos de generación desde esa fuente. Si bien se recibieron varias expresiones de interés en el marco de decreto, solamente un proyecto, para la generación a partir de los efluentes de industria lanera, llegó a ponerse entonces en marcha.

Recientemente, se han concretado proyectos de generación a partir de biomasa de origen forestal y de residuos de la industria láctea, con destino al autoconsumo de energía. En la actualidad, la potencia instalada para el procesamiento de biomasa es de 424 MW.

Energía solar fotovoltaica

Además del impacto del decreto 173/010 sobre la generación conectada a la red de baja tensión, la energía solar fotovoltaica representa una alternativa económicamente atractiva para los sistemas aislados de la red eléctrica, en comparación con los generadores convencionales. Los generadores de energía fósil requieren una inversión inicial relativamente

pequeña y los costos de operación son altos, mientras que las energías renovables requieren una inversión inicial mayor, con costos de operación muy bajos. Gracias al crecimiento del mercado global de las energías renovables, los costos de los sistemas solares aislados han ido disminuyendo continuamente. Un ejemplo de estas soluciones es el proyecto Luces para Aprender con el cual se logró completar la electrificación del cien por ciento de las escuelas del país. Otro caso de sistema aislado es el del poblado Cerros de Vera, en el departamento de Salto. El sistema autónomo integró esta fuente de energía renovable a la ya existente basada en generación diesel.

A medida que los costos del equipamiento fueron reduciéndose, la energía solar fotovoltaica pudo desarrollarse también en parques generadores a gran escala. En Uruguay, el primer proyecto piloto de una planta solar fotovoltaica (Asahi) empezó a generar en marzo del 2013, surgido en el marco de cooperación internacional entre los gobiernos de Japón y Uruguay. El objetivo de este proyecto piloto fue desarrollar capacidades locales, formar profesionales y técnicos y evaluar el desempeño que esta tecnología podía presentar en nuestro sistema eléctrico. Asahi está ubicada en el departamento de Salto, en el parque de ingreso a la represa de Salto Grande. Está compuesta por 2.240 paneles de silicio recubiertos con un cristal que podrá generar hasta 482 kWp⁹ de energía. La planta constituye la primera fase de ejecución de la donación otorgada por el gobierno japonés. Una segunda planta se instalará próximamente en la ciudad de Minas.

A partir del decreto 133/13, se inició una convocatoria para empresas interesadas en generar energía mediante plantas solares fotovoltaicas de gran escala. La potencia máxima a contratar establecida en dicho decreto fue de 200 MW y en ese marco fueron contratados 188 MW.

Además, UTE ha firmado contratos de compraventa de energía de origen solar fotovoltaico mediante resoluciones del propio ente.

Esta capacidad instalada en plantas fotovoltaicas de gran escala, juntamente con

8 El *feed-in tariff* es un instrumento normativo que impulsa el desarrollo de las energías renovables mediante el establecimiento de una tarifa especial, premio o sobreprecio por unidad de energía eléctrica inyectada a la red a partir de fuentes renovables. Es decir, interviene el precio a recibir por el generador de Energías Renovables No Convencionales (ERNCC), y este actor aporta a la red a partir de un precio mínimo conocido.

9 La Potencia Pico es la máxima que genera un panel o conjunto de paneles en las horas de máxima insolación: 1000 w/m² (energía incidente por metro cuadrado) y a 25° C de temperatura ambiente.

las instalaciones de microgeneración y las de autoconsumo, representó una generación de energía eléctrica equivalente al 2 % del total consumido en Uruguay en 2015. Teniendo en cuenta la fuerte incorporación de energía eólica y la reciente instalación de parques solares fotovoltaicos que se está dando en el Uruguay, el MIEM solicitó a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (FING) una investigación sobre la complementariedad entre las fuentes renovables: eólica, solar e hidráulica, y su relación con la demanda de energía eléctrica, tanto diaria como anual.

En cuanto a la complementariedad anual y diaria, se destacan:

- Una alta correlación entre energía eólica y demanda.
- Una complementariedad entre energía solar e hidráulica: verano con baja generación hidráulica pero alta radiación solar (y viceversa).
- Una complementariedad intradiaria entre eólica y solar. La eólica baja su producción de energía en horas del mediodía, y la solar sube el valor esperado en esas horas.

Energía solar térmica

En 2012, por medio del decreto 50/012 se comienza el desarrollo del Plan Solar dirigido al sector residencial. Este sector es destino para el 19 % del consumo final de energía y el 44 % del total del consumo eléctrico nacional. De la encuesta de fuentes y usos de energía surge que, en promedio, el 37 % de la factura eléctrica de una familia está destinada al calentamiento de agua. El sistema solar-térmico a instalar en el Plan Solar podrá ahorrar un 70 % del consumo de energía destinado al calentamiento de agua. Las instalaciones de energía solar térmica han tenido un desarrollo importante en Uruguay en los últimos años, desde disponer de 2 m²/1000 habitantes a fin de 2009 a casi 16 m²/1000 habitantes a fin de 2015.

10 En 2010, la DNE llevó adelante una consultoría sobre «Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Uruguay», donde se analizaron los recursos hídricos de nuestro país y se evaluó el potencial de las PCH. En mayo de 2013, se publicó el documento *Generación hidroeléctrica en pequeña escala*, en el marco del Fondo Sectorial de Energía (FSE) de la ANII. Se consideraron los posibles aprovechamientos de menor impacto negativo desde el punto de vista ambiental y económico, y se llegó a un conjunto restringido de lugares prometedores y sin grandes restricciones en los cuales podría considerarse encaminar un emprendimiento hidroeléctrico.

Energía hidráulica

La energía hidroeléctrica es la más antigua generada en nuestro país y sigue siendo la más relevante en la matriz de abastecimiento eléctrico nacional. Si se considera únicamente la energía eléctrica volcada a la red del sistema interconectado nacional (SIN), el porcentaje promedio de esta fuente fue de 57 % entre 1965 y 2014. Este valor muestra claramente la importancia del recurso hidráulico con respecto a la generación eléctrica en Uruguay.

Uruguay cuenta con importantes recursos hídricos que han facilitado el desarrollo de la capacidad hidroeléctrica. En 1904, comenzaron los estudios para la utilización de los ríos Negro, Uruguay y Queguay para generación. A lo largo del siglo XX se construyeron tres represas sobre el río Negro: Gabriel Terra (Rincón del Bonete), con una potencia instalada de 152 MW; Baygorria, con 108 MW, y Constitución (Palmar), con 333 MW.

Además, el sistema uruguayo cuenta con la central binacional argentino-uruguayo de Salto Grande, instalada sobre el río Uruguay, con una potencia total instalada de 1.890 MW. En 2014, el total de la potencia hidroeléctrica correspondía al 41,4 % del total de la instalada en el país. Para 2017, representó el 34 % de la potencia instalada, debido al aumento en el total de potencia de la matriz, de modo que disminuye la importancia relativa de esta fuente. La energía hidráulica a gran escala ha alcanzado un punto muy cercano al máximo potencial aprovechable, fruto de las posibilidades que el recurso renovable ha ofrecido históricamente en Uruguay.

Por otro lado, los sistemas hidráulicos de pequeña escala pueden aplicarse en todos aquellos cursos de agua donde exista un cierto desnivel. Los sistemas de potencia más reducida son los de implantación más sencilla, con menor impacto ambiental, y sirven principalmente para abastecer a zonas aisladas donde existen dificultades para acceder a la red eléctrica.¹⁰ Luego del impulso inicial del decreto 77/006 que abrió la puerta a esta fuente, y a raíz de que no se presentaron ofertas, no se han tomado nuevas iniciativas de contratar por parte del Poder Ejecutivo.

Microgeneración

El decreto 173/010 reglamenta el intercambio de energía eléctrica en forma bidireccional con la red de distribución. Este decreto, que abarca solar fotovoltaica, eólica, pequeñas centrales hidroeléctricas y biomasa, estuvo inspirado fundamentalmente en habilitar un mecanismo para que la generación de energía de fuente renovable fuera apropiada por consumidores cuyo giro de actividad no fuera específicamente la generación, o incluso los hogares. Básicamente, permite a los suscriptores autogenerarse energía y vender excedentes a la red de baja tensión, al precio del pliego tarifario de UTE (es decir al precio de compra de los suscriptores), con una potencia instalada equivalente a la contratada en el servicio de abastecimiento de UTE, y adicionalmente debe garantizarse un equilibrio anual entre la energía consumida e inyectada. En aquel momento, se visualizaba a la energía eólica como la que se desarrollaría más rápidamente, por su costo de instalación, pero fue en solar fotovoltaica que se obtuvo mayor aprovechamiento del instrumento promocional. La potencia instalada total nacional alcanza actualmente unos 20 MW, la mayoría por suscriptores con actividad comercial e industrial.

Biocombustibles

En 2007, se promulgó la ley 18.195 de agrocombustibles, cuyo objeto es el fomento y la regulación de la producción, la comercialización y la utilización de los agrocombustibles, definidos como todo combustible líquido renovable de origen agropecuario o agroindustrial, que incluyen el alcohol carburante y el biodiesel, entre otros. Los objetivos más importantes de la ley son:

- Promover la producción de agrocombustibles con materias primas nacionales.
- Establecer metas de incorporación de agrocombustibles, que hicieron obligatoria a partir de 2012 la incorporación de 5 % de biodiesel en gasoil y de un 5 % de etanol en naftas, a partir de 2015.
- Definir como modalidades de comercialización de biocombustibles:
 - Exportación.
 - Comercialización con ANCAP.

- Autoconsumo y comercialización con flotas cautivas, estableciéndose un máximo de 4.000 l/día por planta de producción, en una modalidad permitida solo para biodiesel.

- Fijar criterios de fomento de la producción y exoneraciones tributarias.

La reglamentación de la ley 18.195 resultó en el decreto 523/2008, redactado en conjunto con representantes de las instituciones directamente involucradas. En el decreto reglamentario se contemplan aspectos considerados prioritarios relacionados con la autorización de producción, la calidad de los agrocombustibles y la comercialización, y permanecen algunos artículos pendientes de reglamentación para instancias posteriores.

Hoy en día, si bien el mínimo exigido por la ley de agrocombustibles es 5 %, tanto para bioetanol como para biodiésel, la gasolina y el gasoil comercializados en Uruguay contienen niveles superiores de mezcla con etanol y biodiesel (dependiendo de la producción, se ha alcanzado niveles de mezcla de 9 % de etanol y de 7 % de biodiesel). Los límites máximos de mezcla establecidos por la URSEA son 7 % para biodiesel en gasoil y 10 % para etanol en naftas.

En Uruguay, la producción está habilitada para el sector privado; sin embargo, la empresa Alcoholes del Uruguay (ALUR) del grupo ANCAP es, a la fecha, la única que produce biocombustibles a gran escala. Cuenta con cuatro plantas principales de biocombustibles, dos para la producción de etanol en Artigas y Paysandú; y dos para la producción de biodiesel en Montevideo. Esto representa una capacidad instalada de 100.000 m³/año de etanol y de 83.000 m³/año de biodiesel. Adicionalmente, ALUR instaló en Artigas una microdestilería para producir etanol hidratado a partir de boniato con una capacidad de 330 m³/año. Esta planta constituyó un proyecto piloto y en la actualidad no se encuentra en funcionamiento. Las materias primas utilizadas para la producción de biodiesel son soja, canola, girasol, sebo vacuno y aceites vegetales reciclados. Se producen, además, harinas proteicas y glicerina, en tanto que las materias primas utilizadas para la producción de etanol son principalmente caña de azúcar y sorgo grano. Se produce además DDGS (acrónimo inglés de Granos Secos de Destilería con Solubles) de sorgo grano.

Algunos desafíos a futuro para el desarrollo de las energías renovables en Uruguay

La Política Energética 2005–2030 ha sido un pilar del desarrollo de las energías renovables no convencionales en Uruguay y aportó las principales líneas de acción en la última década. Los primeros decretos que exhortaron convocatorias por parte de UTE permitieron conocer la realidad de las distintas fuentes a nivel tecnológico y de costos, y marcaron el camino para posteriores análisis. Introdujeron a su vez un levantamiento de barreras para la introducción de fuentes en función de coyunturas favorables, favorable en particular para el desarrollo inicial de la energía eólica y, posteriormente, de la energía solar fotovoltaica, traccionado principalmente por una muy importante reducción de costos.

La claridad de las reglas de juego resultó otro de los principales factores de desarrollo de las renovables en este período. En efecto, los contratos de tipo PPA¹¹ con UTE con ajustes establecidos, así como la garantía de compra de toda la energía generada (o de generación y despacho posibles) otorgaron seguridad a los inversores y fundamentalmente a los financiadores. Esta reducción de riesgos del negocio llevó a la participación de empresas de primer nivel internacional con un claro marco de competencia, que se tradujo en una reducción de los precios de energía ofertados y en una ampliación de las metas de incorporación en función de la coyuntura, para los casos de eólica y solar fotovoltaica.

La Política Energética 2005–2030 también incluye un eje vinculado al desarrollo social, que la dota de una mirada que trasciende los aspectos técnicos y económicos. El objetivo es garantizar que todos los sectores sociales accedan a la energía, según sus necesidades, mediante un uso eficiente de la misma, en condiciones de seguridad, calidad apropiada y a un costo accesible, posicionándose como un instrumento de promoción de integración social. Este objetivo se encuentra alineado también con los ODS, a los cuales Uruguay ha adherido. En el

informe nacional 2017, se destaca un esquema de gobernanza que asegura su sostenibilidad y transversalización con las estrategias nacionales, donde la normativa y políticas aquí reseñadas demuestran el enfoque del país respecto de la integración de las dimensiones sociales, económicas y ambientales. En este sentido, se aplicaron un número importante de medidas energéticas con un enfoque social, particularmente sobre las poblaciones con mayores niveles de vulnerabilidad socioeconómica y/o territorial desde una perspectiva de derechos e inclusión social, que incluyen obras de infraestructura y procesos de regularización.

Sin embargo, a una década de puesta en marcha de la Política Energética, y en un contexto internacional de creciente incorporación de las energías renovables a rápidas velocidades, resulta pertinente, desde una mirada prospectiva, formular algunas consideraciones en torno de su desarrollo en Uruguay y señalar algunos *desafíos futuros*.

- a. Los precios de energía obtenidos a través de los contratos PPA fueron, en líneas generales, muy convenientes en su momento para el sistema eléctrico, permitiendo reducir significativamente el costo de generación respecto de la realidad del momento y la proyectada. A su vez, los precios ofertados garantizaron rentabilidades atractivas para los inversores privados en eólica y solar fotovoltaica de gran escala. Sin embargo, en el caso de los proyectos de biomasa, éstos mostraron retornos muy ajustados para las empresas. Diversos factores pueden contribuir a ese resultado: una integración (o no integración) de la central generadora con otro proceso productivo, la disponibilidad de materia prima propia, la relación de la paramétrica de ajuste de precio con la evolución de los costos de la actividad, o un aprendizaje más costoso para las empresas, tanto desde lo tecnológico como desde lo comercial. Estos elementos, u otros, pudieron haber erosionado las condiciones de rentabilidad de las empresas del rubro. A nivel del país, sin embargo, la biomasa muestra otros impactos en la economía,

11 Un PPA (Power Purchase Agreement) es un acuerdo o contrato de compraventa de energía entre un generador y un comprador, generalmente por un largo plazo de tiempo. Los contratos de PPA se caracterizan por definir todos los términos de la venta de la electricidad. El contrato fijará cuándo empezará la operación, los plazos de entrega de la electricidad o términos de pago, entre otros.

principalmente en la posibilidad de un mayor componente local en la etapa de construcción, y generación de empleo durante los años de operación. Estas externalidades positivas y su valoración por el Poder Ejecutivo al momento de decidir su incorporación en el sistema eléctrico son uno de los principales desafíos a futuro.

El desarrollo de otras fuentes renovables no tradicionales parece aún incipiente, y no se visualiza en ellas en el corto plazo un nivel de madurez suficiente para incorporarlas en el sistema eléctrico a costos competitivos.

- b. Otro elemento a analizar a futuro es la conveniencia de contratos que aseguren el pago de la energía a las centrales generadoras, incluyendo la energía no entregada por restricciones operativas, tal cual opera con los proyectos adjudicados a privados mediante PPA. Por un lado este aspecto otorga mayores garantías a los desarrolladores y financiadores, y presumiblemente permita ofertar menores precios de energía. Por otro lado, presenta un desafío al operador (UTE), ya que los posibles excedentes deben ser absorbidos, y se debe buscar un modo de aprovechamiento (almacenamiento, exportación o gestión de demanda) para que no signifiquen una pérdida.
- c. En cuanto a la financiación, las empresas privadas se financiaron casi exclusivamente en una modalidad tipo *project finance*,¹² en tanto UTE tomó sus proyectos bajo otras modalidades (*leasing*, fideicomiso, mercado de valores), en función de restricciones impuestas en la capacidad de inversión. Estas modalidades han mostrado ser rentables para sus inversores, aunque la experiencia en este tipo de contratos deberá ser insumo para el análisis en el futuro, especialmente en el caso de UTE.
- d. La planificación del sistema debe incluir también la planificación de redes de alta tensión, donde será necesario disponer de nodos con posibilidad de evacuar potencia suficiente, y en los sitios donde exista

potencial de desarrollo. Un ejemplo de carencias en ese sentido se pudo observar en las últimas convocatorias de energía solar fotovoltaica, donde existían pocos puntos con disponibilidad de conexión sin necesidad de afrontar costos importantes en tendido de líneas y varios proyectos tuvieron que ser divididos en pequeños proyectos para que pudieran concretarse. Este aspecto tiene también un impacto sobre los precios de la tierra en predios adyacentes, ya que, al existir pocos puntos de evacuación de energía, el suelo puede tener un valor muy alto fruto de la especulación, que aumenta el costo del proyecto y por ende de la energía, de manera que puede incluso llegar a hacer inviables los desarrollos.

- e. En relación a la provisión local de servicios, la experiencia ha sido positiva, alcanzándose participaciones significativas de empresas locales. Esto fue traccionado por las exigencias de límites mínimos impuestos por el Poder Ejecutivo en las convocatorias, así como por las bonificaciones en el precio comparativo de las ofertas, en algunos casos. Dicho esto, debe tenerse en cuenta que una parte significativa de ese componente de la inversión provisto localmente resultaba razonable a priori para los desarrolladores, tratándose usualmente de servicios de obra civil, montaje, y logística local por ejemplo. La provisión de bienes, por el contrario, no tuvo una participación relevante, excepto en algunos casos aislados en biomasa (calderas) y eólica (torres de hormigón). Los estándares de fabricación del sector (eólica y solar por ejemplo), la complejidad de diseño y construcción de los elementos, el tamaño del mercado y los costos de producción son barreras importantes para la producción local. Existe una tendencia a adquisiciones y grandes *holdings* de fabricantes, que ha orientado a una captación de proveedores desde Asia.

Si bien algunos casos de éxito mostraron que es posible fabricar componentes en Uruguay, y que los fabricantes internacionales están dispuestos en cierta medida a darles lugar, la rápida revisión

¹² Por *project finance* se entiende una financiación estructurada basada en los flujos de caja a largo plazo generados por una sociedad constituida para un proyecto aislado, que toma colateralmente como garantía los activos de esta sociedad.

al alza de las metas de incorporación (como fue el caso para la eólica) y lo reducido de los plazos de construcción tuvieron un impacto negativo sobre la posibilidad de adaptar a los fabricantes de bienes locales a las necesidades del sector. Este aspecto debe tenerse en cuenta a futuro, con una planificación escalonada de la incorporación de renovables, con plazos razonables para el sistema eléctrico, pero que permitan desarrollar proveedores locales con confianza en la existencia de un mercado futuro, al menos en el mediano plazo.

f. Desde el punto de vista del ordenamiento territorial y el impacto ambiental, en muchos casos la normativa se elaboró en paralelo con el diseño y construcción de las centrales generadoras. Hoy día se dispone ya de normativa local aplicable que garantiza reglas claras con que evaluar todos los proyectos para las distintas fuentes desarrolladas (solar, eólica y biomasa). A futuro será necesario anticiparse a cambios tecnológicos o de fuentes, que garanticen desarrollos sostenibles ambientalmente, tomando como aprendizaje el proceso anterior y apuntando a una fuerte interacción entre los organismos ejecutores de la política energética y ambiental.

Adicionalmente, otro desafío a futuro será uniformizar los requisitos de ordenamiento territorial, ambiental y otros relacionados para el desarrollo de un proyecto de generación, incluso a partir de un organismo o puerta de entrada estatal que coordine las instancias. Es destacable que puedan contemplarse las solicitudes de distintos proyectos (energía, minería, industrial, forestal, por ejemplo) para una zona, a partir de una definición de reglas de coexistencia de los proyectos, en la medida de lo posible.

g. En materia de formación de recursos humanos, se conformó una oferta muy variada tanto a nivel profesional como técnico. En este sentido, se verificó una rápida adaptación a las necesidades de un sector de reciente desarrollo, que permitió una alta participación de técnicos locales en los desarrollos en Uruguay y, posteriormente, la exportación de servicios con participación de técnicos nacionales en

convocatorias regionales. El principal desafío futuro es mantener una currícula actualizada y adecuada a los planes estratégicos en el sector. Esta rápida adaptación en lo formativo no tuvo su correlato en la generación de investigación y desarrollo donde, aunque se han tenido señales positivas, el avance aún es incipiente en Uruguay. Como se verá en el capítulo siguiente, los niveles de inversión en I+D son relativamente bajos en comparación con otras regiones, aunque dentro de la media de América Latina. La creación del Fondo Sectorial de Energía (FSE) en la ANII contribuyó significativamente, así como otros convenios entre academia y gobierno (principalmente UDELAR con MIEM y UTE). Sin embargo, se visualiza como un desafío el incremento de la participación del sector privado en el área, así como el aumento de la cooperación entre centros regionales e internacionales, como manera de colaborar en la investigación y generar proyectos de mayor alcance.

h. Respecto de lo normativo, desde el comienzo de la transición energética en Uruguay, el marco eléctrico ha experimentado una sucesión de cambios aislados, aunque de real significación. Sin embargo, las innovaciones normativas no siempre han guardado coherencia con el conjunto de decretos y reglamentos preexistentes. El cuerpo normativo vigente fue estructurado en un contexto de liberalización de mercados de la década de los noventa, lo que exige una revisión integral a la luz del contexto actual de una planificación energética centralizada con participación de actores privados. En los propios decretos que periódicamente ajustan el valor máximo de las tarifas de energía eléctrica, es decir, que se revisan con frecuencia, pueden observarse inconsistencias con la evolución reciente de los negocios eléctricos. Es el caso, por ejemplo, de las tarifas de energía que pagan los generadores de energía en baja tensión, amparados en el decreto 173/010. Es necesario revisar la estructura de las tarifas del pliego en ocasión de que el suscriptor sea, a su vez, un generador de energía, puesto que en las tarifas de «baja tensión» parte de los costos de red se cargan en el componente energía de la tarifa.

i. En referencia a la actividad de microgeneración, si bien Uruguay fue pionero en Sudamérica en el año 2010 a través de normativa específica y en línea con la Política Energética que propendía a la autogeneración en el hogar, la evolución del mercado se concentró casi exclusivamente en el sector empresarial. Explica este fenómeno de crecimiento exponencial el decreto 02/012 que otorga interesantes exoneraciones fiscales a empresas tributarias de IRAE que realizan inversiones en energías renovables. A pesar de la notoria disminución del costo de la tecnología de los últimos años (en particular, fotovoltaica), para el sector residencial es aún poco atractivo si no se establecen mecanismos de promoción específicos para dicho sector.

j. En cuanto al eje social, las políticas públicas de vivienda han convergido con las energéticas en aunar esfuerzos para dotar de una mejor calidad de vida a las poblaciones vulnerables,

en disponer relocalizaciones de vivienda hacia núcleos habitacionales con acceso a energías renovables, en la medida posible para los presupuestos. Es esperable que estas políticas se mantengan en el tiempo; no obstante, deberían profundizarse para poder abatir significativamente la cantidad de personas que se encuentran en condiciones energéticas precarias. En algunos casos donde se realizaron relocalizaciones, se trabaja en forma conjunta entre ministerios para incluir colectores solares o instalaciones sanitarias para tales fines, aunque el alcance ha sido relativo y es necesario continuar avanzando. Adicionalmente, un desafío a futuro es la generación de normativa o estímulos para la construcción de viviendas energéticamente resilientes, entendidas como aquellas cuyas cualidades constructivas en conjunto con las fuentes utilizadas para abastecimiento energético otorgan robustez frente a los ciclos económicos del país o cambios en el precio de las tarifas de energía.

Recuadro 3. Consideraciones respecto al sistema eléctrico con alta participación de renovables

Si bien la generación en el mediano y largo plazo de las fuentes renovables no tradicionales es altamente predecible, estas fuentes tienen en su mayoría la característica de ser no gestionables, es decir la energía se debe consumir cuando se genera, con poca o nula posibilidad de almacenarla. En este contexto de expansión del sistema con renovables no tradicionales, en su mayoría no gestionables (eólica y solar), existe una mayor vulnerabilidad a las variaciones del recurso.

Estos aspectos deben ser abordados por los gestores del sistema incorporando nuevos conceptos. Deberán utilizar tecnologías y técnicas avanzadas que permitan el flujo instantáneo de electricidad e información, que soporten cantidades crecientes de energía distribuida y clientes que participan en el mercado como demanda y generación, apoyados por elementos de redes inteligentes. En efecto, el mayor desafío para incrementar la penetración de las energías renovables y mantener altos porcentajes en el sistema eléctrico radica en gestionar los excedentes con un manejo de demanda y exportaciones optimizado, que garantice el abastecimiento con costos competitivos.

Algunas de las posibles soluciones a explorar en el futuro que permitan gestionar la variabilidad de las renovables son las siguientes:

- a. Disponer de una participación significativa de fuentes renovables gestionables (hidráulica de embalse, biomasa).
- b. Almacenar energía en baterías (en fase experimental actualmente). Aunque las baterías de gran escala son aún prototipos con altos costos, podrían representar una solución de almacenamiento en el mediano y largo plazo. Asimismo, esta tecnología se encuentra muy alineada con el desarrollo del mercado del vehículo eléctrico, ya que baterías usadas (luego de 8–10 años) que no sean útiles para vehículos, resultan apropiadas para emplearlas en centrales de almacenamiento de energía eléctrica.
- c. Orientar energía hacia centrales de bombeo y turbinado también ha mostrado ser una solución en otros países, en función de las características orográficas, la red y otros factores.
- d. Exportar/importar excedentes: la exportación de energía puede verse como modo sistemático y planificado de gestionar la demanda, mediante despacho de excedentes de electricidad hacia Argentina y Brasil. Las condiciones técnicas para hacerlo ya existen, dependiendo en mayor medida de lograr acuerdos comerciales.
- e. Gestionar la demanda (carga de vehículos eléctricos y de calefones, a modo de ejemplo): estas soluciones provienen de la gestión en el uso de energía del consumidor, sin afectar el confort del mismo. Uruguay tiene potencial para la regulación de algunas cargas en particular: actualmente es aplicable a los calefones y, a futuro, a los vehículos eléctricos. En ambos casos, mover su uso o carga de los horarios pico hacia los horarios de madrugada se alinea con los excedentes de energía eólica habituales en ese horario. Los calefones eléctricos son un ejemplo de un mercado existente, con posibilidades reales de implementarse y contribuir a la gestión de la demanda en el corto y mediano plazo.
- f. Producir hidrógeno: se han venido desarrollando en el mundo distintos usos para el hidrógeno, tanto para destino residencial como para almacenamiento de energía, aplicaciones industriales y, principalmente, se lo ha aplicado a la movilidad. La producción de hidrógeno a través de la electrólisis requiere cantidades importantes de electricidad. Los excedentes generados a través de la participación de renovables pueden ser útiles para producir hidrógeno en Uruguay a costos sensiblemente inferiores, comparados con mercados de generación eléctrica más cara.

III. Prospección tecnológica: una mirada prospectiva a la I+D aplicada a las energías renovables

Las fuentes renovables no convencionales tienen un impulso y desarrollo tecnológico reciente, y algunas de ellas han alcanzado una madurez relativa sobre la base de importantes montos invertidos en investigación, tanto desde el sector público como del privado. La búsqueda de fuentes autóctonas que provean mayor seguridad energética, reducción de importaciones y contaminen menos ha movilizó el desarrollo de las energías renovables, a caballo de los países con capacidades para investigación y de sectores industriales desarrollados pioneros en I+D. Fuertes inversiones en I+D han aportado tecnologías de aprovechamiento de la energía renovable, a costos cada vez más accesibles, permitiendo la incorporación de estas tecnologías en países con menor desarrollo. Estados Unidos, China y Europa invirtieron más de 165 miles de millones de dólares en energías

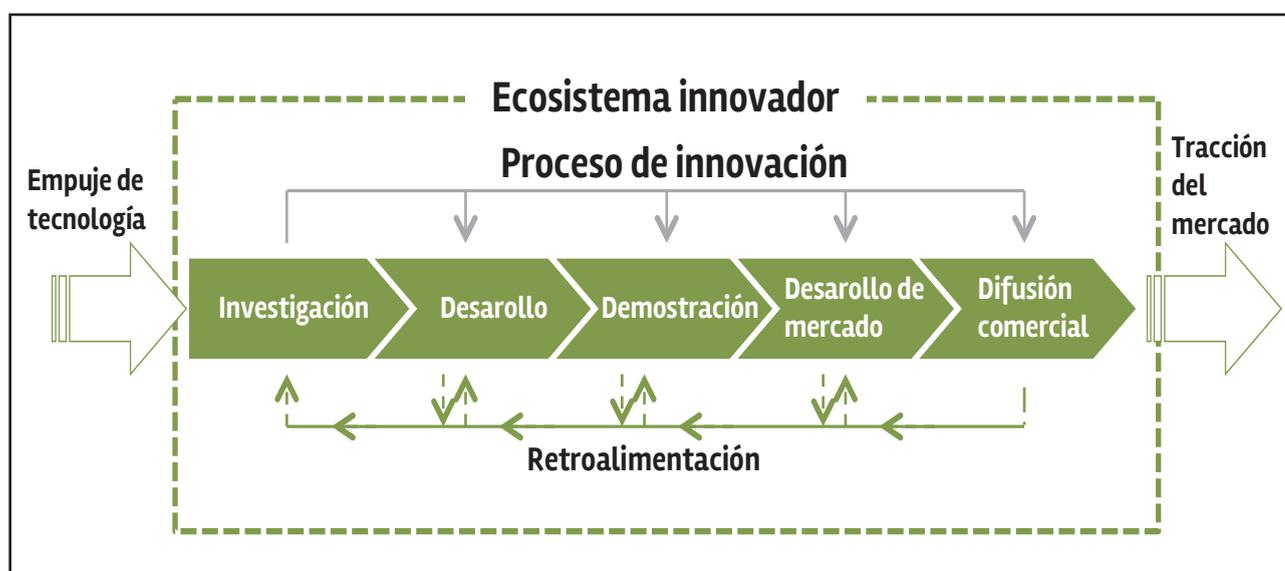
renovables en 2016, y son referentes en la construcción de equipos para las centrales de generación de fuentes renovables.

En este capítulo, se ofrece una breve reseña de la situación mundial de la inversión en investigación y desarrollo y se presentan los resultados de la prospección tecnológica llevada cabo.

III. 1. I+D aplicada a las energías renovables

Los procesos de innovación y áreas de aplicación son múltiples y se muestran en el siguiente cuadro que resume las actividades de innovación, desde el desarrollo de ciencias básicas hasta el de productos para el mercado (a partir de una publicación de la IRENA).

Figura 5. Actividades claves en un proceso de innovación



Fuente: IRENA.¹³

13 IRENA, *Research and Investigation renewable energy technologies*, IAC, 2015.

Se puede identificar una primera línea de investigación y desarrollo (I+D) referida a la viabilización tecnológica y comercial de las distintas fuentes, que permitiendo diseñar y construir productos (paneles solares, aerogeneradores, calderas, etc.). Una segunda línea de I+D se refiere a la adaptación de las tecnologías desarrolladas para otras condiciones/mercados, la búsqueda de soluciones económicamente más adecuadas, la confección de mapas locales de recursos, entre otras aplicaciones, donde la I+D juega un papel fundamental en el desarrollo de las renovables, y

las inversiones suelen ser accesibles a los países menos desarrollados. La inversión en I+D también es aplicable en áreas muy importantes, como el desarrollo de fuentes financieras y de modelos de negocio.

De acuerdo a estudios de IRENA, los países menos desarrollados suelen tomar los productos desde los fabricantes de origen, con alguna participación eventual en el diseño y fabricación de componentes, y la mayor parte de I+D corresponde a la segunda línea antes mencionada.

Cuadro 1. Inversión en renovables e I+D – 2016

Región/país	Inversión total en ER (miles de millones USD)	Inversión I+D en ER (miles de millones USD)	I+D / Inversión en ER
Europa	59,8	2,2	3,7 %
China	78,3	2	2,6 %
Asia	26,8	1,9	7,1 %
Estados Unidos	46,4	1,5	3,2 %
Brasil	6,8	0,2	2,9 %
América**	6,1	0,04	0,7 %
Medio Oriente y África	7,7	0,03	0,4 %
India	9,7	0,01	0,1 %
	241,6	7,9	3,3 %
* Incluye Oceanía. No incluye China, India ni Medio Oriente.			
** Excepto Estados Unidos			

A partir de un estudio realizado por la Frankfurt School of Finance and Management y Bloomberg New Energy Finance para el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA),¹⁴ se estimó una inversión total mundial en 2016 del orden de 8 mil millones de dólares en I+D vinculada con energías renovables, un 14 % menos que el pico alcanzado en 2011. Este valor se compone de un 68 % de inversión en I+D procedente del sector público, y el restante 32 % del sector privado. Es apreciable un incremento de la inversión pública, que participaba con alrededor de un 50 % hace una década.

De acuerdo con el informe de PNUMA, la fuerte inversión en I+D en solar fotovoltaica y eólica realizada en las últimas décadas permitió

augmentar la eficiencia en la generación y reducir los costos de fabricación en forma muy significativa, posicionando a estas fuentes a nivel competitivo (sin subsidios) con las fuentes fósiles.

No obstante, los precios competitivos ofertados en las licitaciones a nivel internacional no solo se deben a los incrementos de eficiencia y reducción de costos de inversión, sino que también se ven influidos por la expectativa de que los costos de fabricación continúen bajando en el futuro cercano, lo cual hace necesario continuar los procesos de I+D para hacer efectivas estas expectativas de mercado. La mayor parte de esta inversión es debida a las fuentes solar fotovoltaica, biomasa y eólica.

14 Frankfurt School – UNEP Centre/BNEF. *Global trends in renewable energy investment*, 2017. Disponible en: <https://europa.eu/capacity4dev/file/46372/download?token=OAVx09NT>

III.2. Prospección tecnológica: estudio de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva de las energías renovables

Como se mencionó, dentro de este estudio prospectivo fue incluida una prospección tecnológica con el objeto de incorporar esta dimensión clave en la elaboración de escenarios futuros para las energías renovables en Uruguay. En ese marco, se buscó reconocer las tecnologías que estarán presentes en el mercado de energías renovables en el futuro. En efecto, la prospección tecnológica es clave como producto en sí misma y como insumo para la elaboración de los escenarios alternativos del sector de energías renovables.

El proceso combina fuentes primarias y secundarias de información y se realiza en varias etapas:

1. Elaboración de un mapa de tendencias específicas emergentes (TEE) potencialmente pertinentes.
2. Consulta a expertos a través de una encuesta Delphi para reconocer las TEE más pertinentes y elaborar una propuesta de mapa de ruta más conveniente.
3. Análisis cuantitativo¹⁵ de los principales rasgos del mapa de ruta más conveniente.

En la primera etapa se realiza una búsqueda de tecnologías a nivel mundial, que se encuentren en lo que denominamos «frontera tecnológica». De esta manera, se buscan los desarrollos tecnológicos¹⁶ incluidos dentro de lo que llamamos TEE. Son tecnologías en fase de desarrollo, precomercial o recientemente introducidas en el mercado, cuya tasa de difusión¹⁷ es muy baja con respecto a otros productos similares del mercado.

En esta primera etapa, en el marco del estudio se realizó un estudio de vigilancia de *call for papers*, artículos científicos en revistas indexadas y patentes como fuentes primarias de información. Los resultados de esta revisión de la actividad científica y tecnológica ofrecen la oportunidad de anticipar la dinámica de cambio, proporcionando información de valor estratégico para el estudio de prospectiva estratégica. En efecto, el cambio esperado para el futuro, en cuanto a desarrollo científico, se puede observar en los artículos aparecidos en revistas indexadas correspondientes al 25 % de las más prestigiosas del mundo. Lo tradicional es que los adelantos científicos den lugar a progresos tecnológicos que se reconocen y se miden en patentes.

Al finalizar esta etapa, se disponía de un listado de tecnologías, denominado «Mapa de tendencias tecnológicas en energías renovables» (véase Anexo II), dividido en ocho categorías,¹⁸ de acuerdo con el sector al que hacían referencia o dentro del cual se enmarcaban. Se identificaron 32 áreas de base tecnológica y 243 tecnologías específicas emergentes en estas ocho categorías.

Este mapa de tendencias se presentó en un taller realizado en setiembre de 2017 con representantes de empresas públicas, instituciones estatales, empresas y académicos. El objetivo fue que, a través de la aplicación de un cuestionario Delphi, estos expertos del sector priorizaran las tecnologías para Uruguay, sobre la base de tres criterios: pertinencia de la tecnología para Uruguay, atraktividad¹⁹ y factibilidad. Además, se preguntó qué año se consideraba probable para una adopción de la tecnología.

Priorizadas las tecnologías y elaborados a partir de ellas «patrones de desarrollo y especialización»,²⁰ a partir de su atraktividad y su factibilidad, se convocó un segundo taller en el que se priorizaron dichos patrones y se elaboró una primera versión de las hojas de ruta tecnológicas (TRM, por sus siglas en inglés). Estas primeras

¹⁵ Estudio y análisis cuantitativo de la producción científica, particularmente de los artículos científicos.

¹⁶ Cuando hablamos de desarrollos tecnológicos, se refiere tanto a productos, tecnologías, procesos, diseños de redes, entre otros.

¹⁷ El volumen de uso del desarrollo, tanto a nivel empresarial como gubernamental o a nivel de academia.

¹⁸ Las categorías son: Sistema de transmisión de alto voltaje, Sistemas de distribución de energía: DNO/DSO, Sistemas de energía eólica, Sistemas de energía fotovoltaica, Energía de la biomasa, Energía geotérmica, Energía mareomotriz, Energías renovables y Sostenibilidad.

¹⁹ Una tecnología se considera atractiva si presenta un potencial beneficio y a su vez se considera que el sector posee capacidad para capturar dicho beneficio.

²⁰ Los patrones de desarrollo y especialización se configuran con tecnologías con similares valores de atraktividad y factibilidad, según la opinión de los expertos consultados.

versiones fueron trabajadas posteriormente en reuniones de grupos específicos con *expertise* en cada subsector energético y validadas en un segundo taller general.

La función de estas hojas de ruta es mostrar a grandes rasgos la evolución tecnológica en el sector y, dada la velocidad del cambio tecnológico, servir como un insumo más para elaborar las estrategias a implementar en el corto y mediano plazo.

En el marco de este estudio, se elaboraron hojas de ruta tecnológicas en función de los patrones de desarrollo priorizados por los expertos para Uruguay:

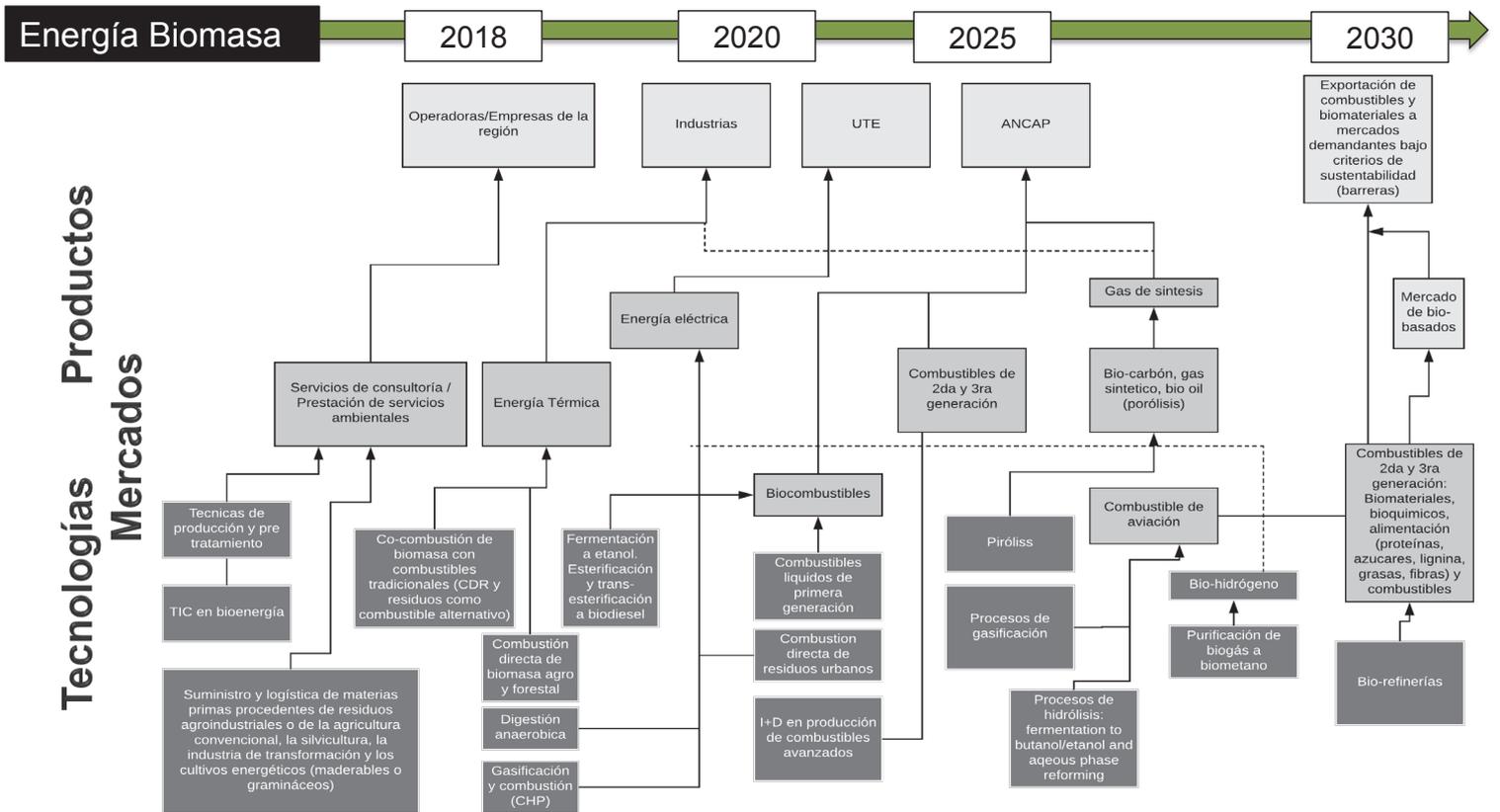
1. Energías renovables y sostenibilidad: se elaboraron dos hojas de ruta vinculadas con las energías renovables en general, dado el amplio espectro de temas que abarca esta categoría y la especificidad de ellos.
2. Distribución y transmisión de alto voltaje.
3. Energía de biomasa.
4. Energía eólica.

A continuación, se presentan estas hojas de ruta, consensuadas entre los expertos, con tres niveles: tecnologías (nivel inferior de las figuras 6 a 10), productos asociados a dichas tecnologías (nivel medio de las figuras 6 a 10) y mercados a donde apuntarían dichos productos (nivel superior de las figuras 6 a 10). Estos niveles, a su vez, se ubican en una línea temporal que va desde el presente (año 2018) hacia el corto plazo (2020), luego al mediano plazo (2025) y finalmente al largo plazo (año 2030, horizonte temporal elegido para hacer factible la prospección tecnológica).

Hoja de ruta tecnológica 1: Energías renovables y sostenibilidad I

El avance tecnológico y crecimiento exponencial del mercado de vehículos eléctricos puros o híbridos en sus variaciones enchufables o no enchufables (PHEV y HEV) es acompañado actualmente por avances en los sistemas de carga, tanto los simples como los inteligentes (con conectividad, acceso y control remoto). Esto permite prever en el corto plazo (2018–2020), como se ilustra en la Figura 6, el desarrollo y fabricación de productos como los dispositivos de carga o autopartes, así como también el desarrollo de *software* y servicios TIC asociados a la gestión de movilidad eléctrica y microrredes.

Figura 6. Hoja de ruta tecnológica sobre energías renovables y sostenibilidad I



El avance en la penetración de las energías renovables, así como la maduración del mercado justificarán la aparición de infraestructura para evaluar la calidad de los principales equipamientos renovables, a través de sistemas como el etiquetado de componentes. En un horizonte 2020–2025 donde existe una alta penetración de energía solar fotovoltaica en la red, las tecnologías TIC permitirán el desarrollo de *software* de planificación de la red de distribución, así como también de *software* de pronóstico de generación fotovoltaica. Es posible prever por tanto que Uruguay puede posicionarse como proveedor regional e internacional de servicios vinculados al desarrollo e implementación de *software* tanto para empresas del sector eléctrico como para entes responsables del despacho de carga, entre otros. Por otra parte, el notable crecimiento en la generación de puestos de trabajo en el sector en Estados Unidos, China, India, Brasil y Alemania, que reúne el 70 % de la nueva oferta, hace de las energías renovables una oportunidad singular para que Uruguay aproveche las oportunidades que ofrece esta megatendencia.

En un horizonte a partir del año 2025, el estado de maduración del vehículo eléctrico y su grado de penetración en el país genera condiciones

favorables para la participación en las cadenas de valor asociadas a estos vehículos (ensamblaje de automóviles o producción de autopartes) a nivel nacional, tanto para el abastecimiento interno como para el mercado regional. La oportunidad de aprovechamiento estratégico de este tipo de oportunidad de base tecnológica ofrece a la industria uruguaya la ventana de tiempo suficiente para integrarse a las cadenas globales que avanzan en la integración de sus nuevos portafolios basados en vehículos eléctricos.

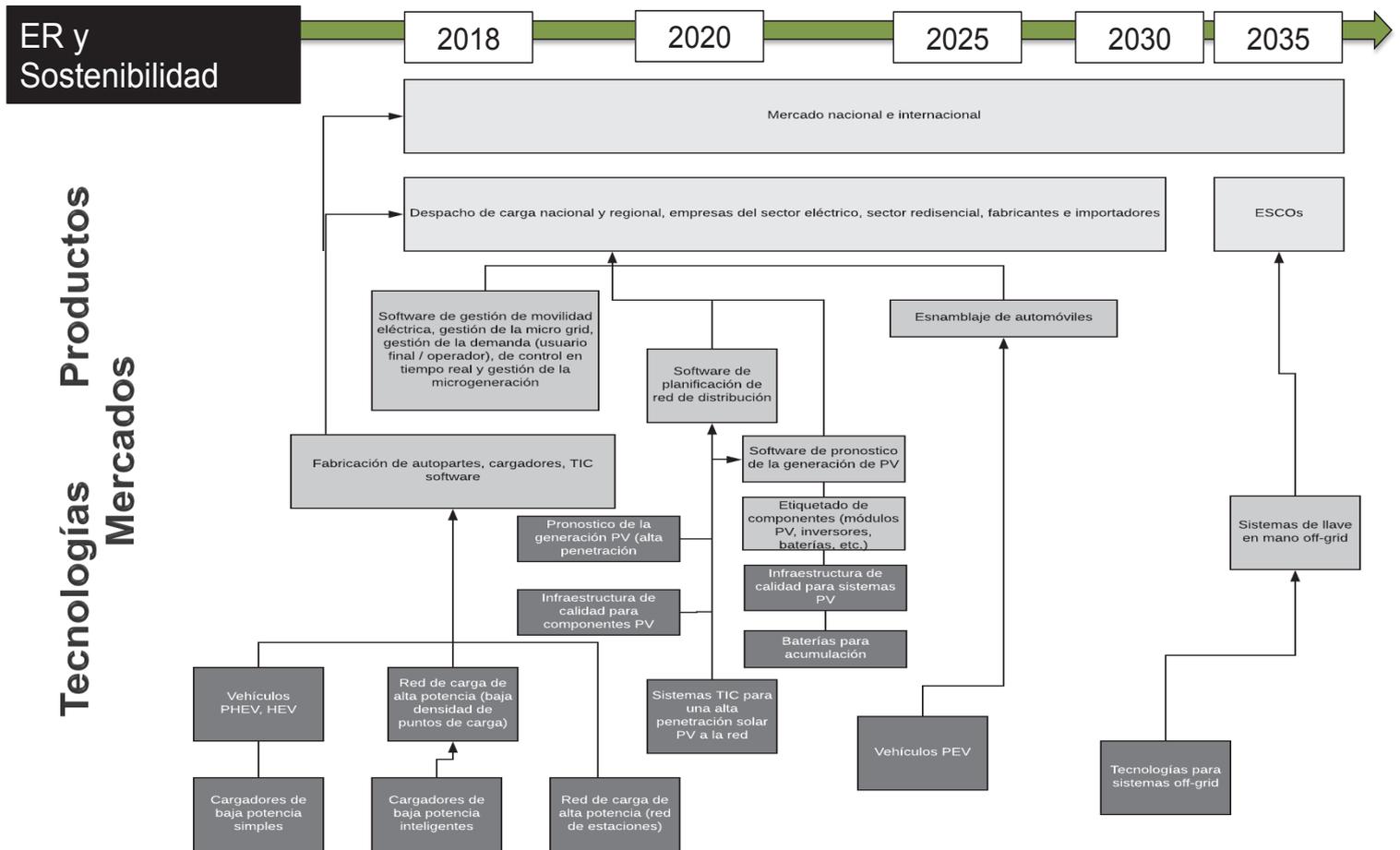
Hoja de ruta tecnológica 2: Energías renovables y sostenibilidad II

Actualmente se puede identificar un conjunto de tecnologías vinculadas con la automatización con fines comerciales y de servicios, como los sistemas de iluminación eficiente, la domótica para grandes superficies, los sensores, actuadores, medidores multihorario, entre otros. Algunas de ellas permiten, asimismo, desarrollar dispositivos de control de tarifa y carga, aspectos donde UTE está trabajando actualmente como forma de tener mayor control de la curva de

demanda eléctrica a nivel nacional. El futuro es ya una combinación de imágenes tomadas por drones, sensores digitales y empleo intensivo

de sistemas que automatizan las comunidades, tanto en las ciudades como en el campo.

Figura 7. Hoja de ruta tecnológica sobre energías renovables y sostenibilidad II



En un horizonte 2020–2025, el avance de las mencionadas tecnologías así como la popularización de otras, como las baterías para acumulación y la generación fotovoltaica residencial, permitirán profundizar las soluciones de *hardware* y *software* para gestionar de forma óptima la demanda nacional; al aprovechar la oportunidad gracias a que los investigadores están batiendo récords de eficiencia para las células fotovoltaicas.

Resulta, por tanto, un camino de desarrollo para mejorar, además, la oferta nacional. De acuerdo al tipo de soluciones en las que se está trabajando, es de prever que las mismas apuntarán a un mercado mayormente residencial (por ejemplo, calentamiento de agua inteligente). Se prevé también que el modelado de edificios que incorpora la eficiencia energética permitirá

el desarrollo de *software* de modelación de edificios en un horizonte 2025–2030. Lo anterior sumado a nuevos materiales y componentes para construcción eficiente permitirá el desarrollo de empresas que brinden asesoría en modelación de edificios (tanto nuevos como existentes), cuyo mercado lo constituirá principalmente el sector de la construcción.

Tales desarrollos de base tecnológica ya habían sido advertidos por grandes conglomerados de la industria como Schneider Electric, pues estos fabricantes consideraban que la colección de edificios interconectados empleando tecnologías avanzadas de sensores, medición, análisis y control prometía reducir la factura de electricidad y demostrar a los clientes potenciales cuán poderosas serían las nuevas tecnologías.

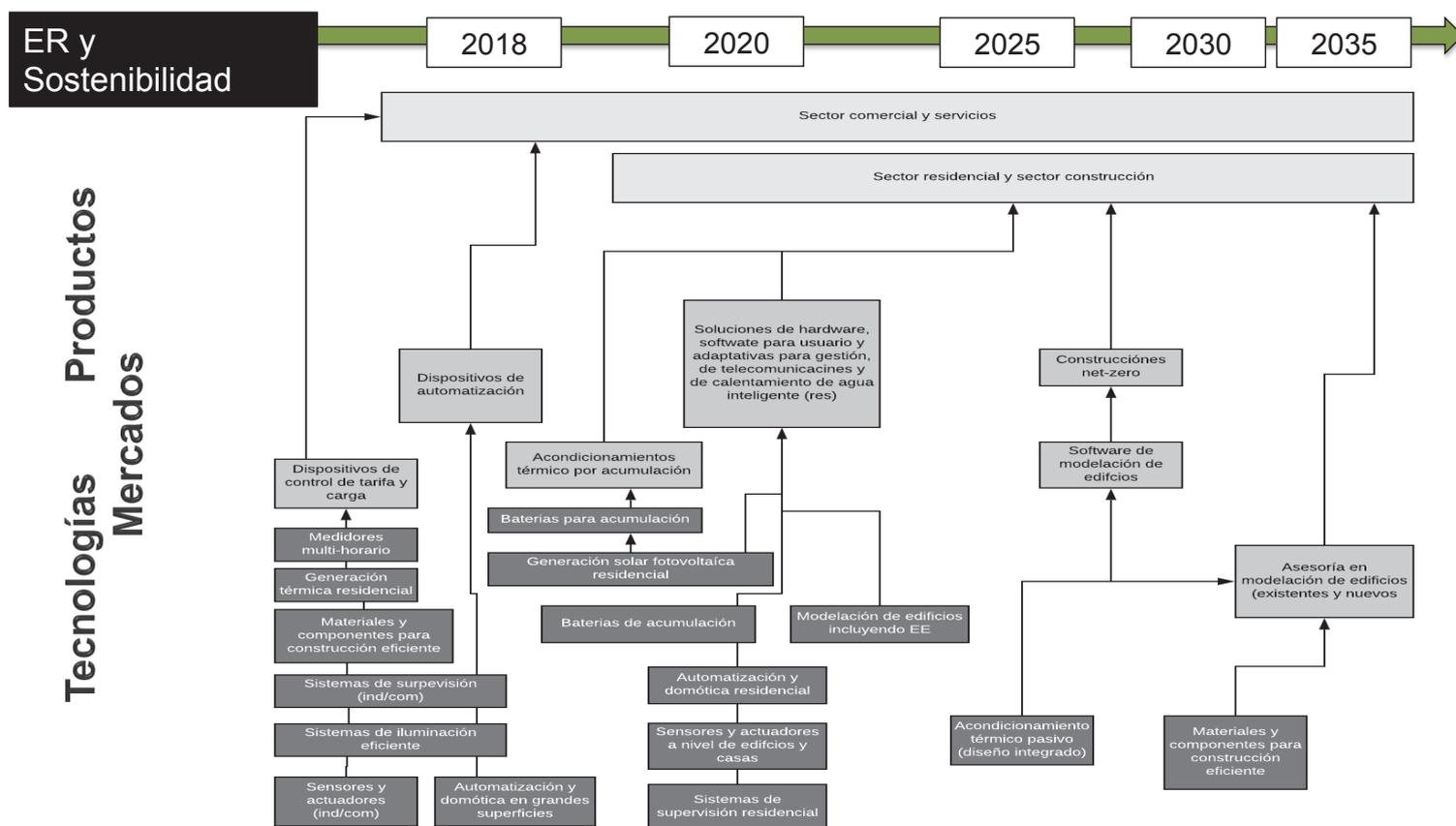
Hoja de ruta tecnológica 3: Distribución y sistemas de transmisión de energía de alto voltaje

Las tecnologías asociadas a las redes de alto voltaje y distribución muestran una evolución gradual, donde además de la incorporación de generación variable, se visualiza una demanda creciente de electricidad que se pueda gestionar a través de sistemas inteligentes. La posibilidad de esta gestión bidireccional para el operador y consumidor representa un cambio de paradigma y genera servicios dinámicos de tarifa que otorga beneficios para ambos. El desarrollo y la

evolución tecnológica y de reducción de costos en la producción de energías limpias parece ser una tendencia irreversible para la cual Uruguay cuenta con una oportunidad estratégica de asumir un sólido y sostenible liderazgo en la región.

En el corto plazo (2018–2020), las tecnologías de predicción y control de generación de eólica, así como las necesarias para el control de la tensión de la red, aparecen como las necesarias para brindar servicios de tarifa en tiempo real, que acompañen la realidad de generación variable hora a hora. Existen ya los primeros productos disponibles por UTE para consumidores de gran porte de capturar beneficios económicos consumiendo con señales dinámicas.

Figura 8. Hoja de ruta tecnológica sobre distribución y sistemas de transmisión



A mediano plazo (2020–2030) se irán incorporando paulatinamente medidores inteligentes a todos los consumidores eléctricos, que dotarán de capacidad de medir y conocer remotamente el comportamiento de la demanda para UTE, e incluso actuar sobre la demanda a través de comunicación bidireccional, gracias a la participación más activa de compañías globales líderes. El uso de electrodomésticos

gestionables (IoT) y la incorporación de vehículos eléctricos serán una realidad en los próximos años, completando la posibilidad de gestionar prácticamente el cien por ciento de la demanda.

El mayor desafío y oportunidades de desarrollo de tecnología está asociado con el manejo de datos en gran escala (*big data*), con la seguridad de los datos personales y con la operación del sistema. En este contexto, existe

un panorama favorable para el país dado el alto grado de electrificación y también de conectividad y servicios de almacenamiento de datos. A esto se suman las emergentes iniciativas de innovadores menores a 35 años que orientan sus iniciativas en el desarrollo de soluciones para las energías limpias, área para la que Uruguay cuenta con las condiciones necesarias para ser protagonista. Los productos y servicios estarán asociados en Uruguay a la oferta de modalidades de consumo (tarifas) que sean posibles por un sistema con tecnología que permita la integración de la generación, redes y demanda. La consultoría regional e internacional basada en la generación de tecnología y su implementación será otro de los servicios que puedan brindar tanto las empresas privadas como el operador.

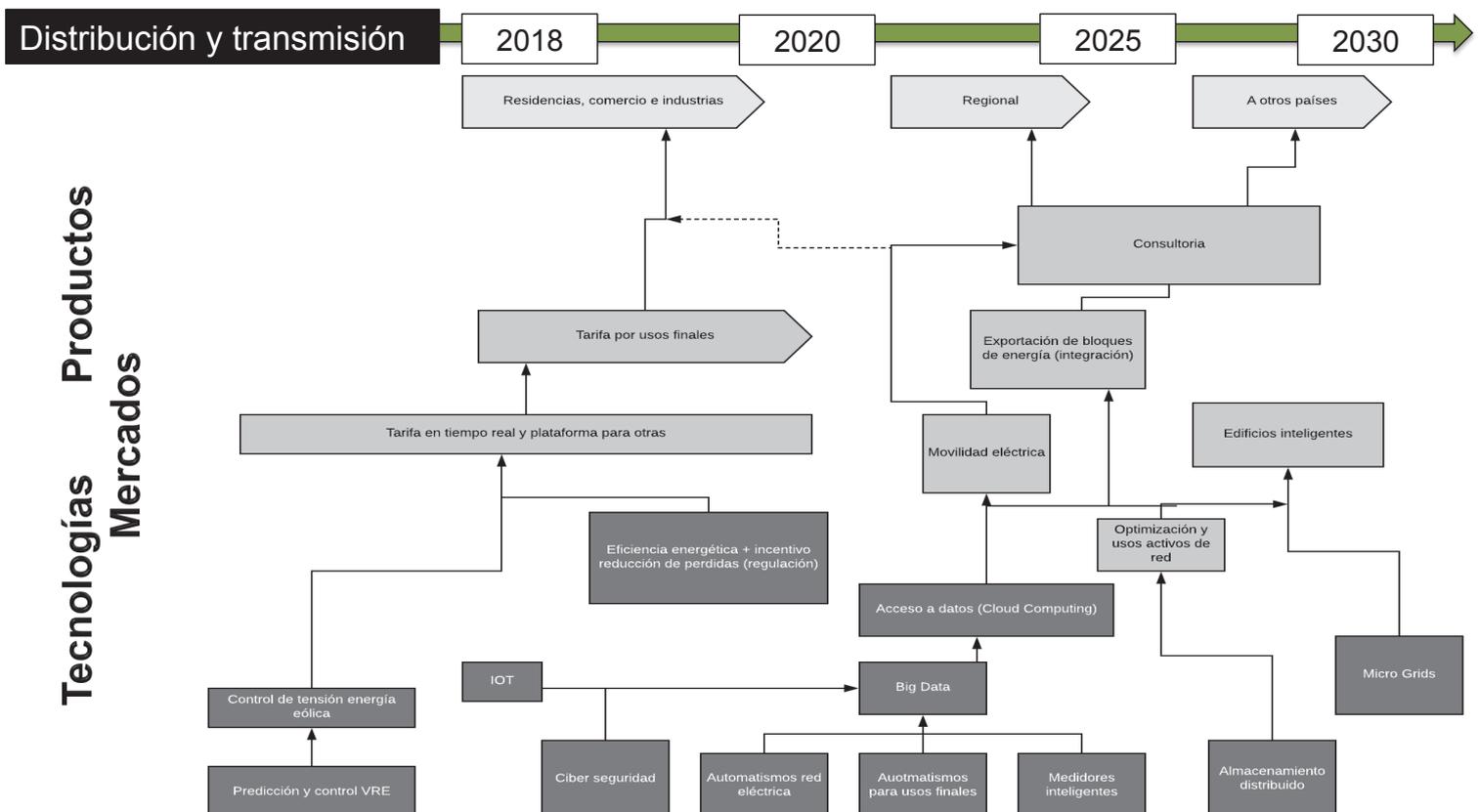
Hoja de ruta tecnológica 4: Energía de biomasa

Las tecnologías seleccionadas para la energía a partir de biomasa evolucionan en forma gradual, tanto en el nivel de aprovechamiento de biomasa como en la sofisticación del proceso.

Como puede verse en el TRM presentado en la figura 9, en el corto plazo (2018–2020), se identifican tecnologías de suministro y logística de residuos agrícolas, silvícolas y agroindustriales que permiten un mejor aprovechamiento y gestión de los residuos para emplearlos como combustible en combustión directa, en co-combustión, así como en obtención de energéticos a través de la digestión anaeróbica, la gasificación y la fermentación.

Debido al desarrollo alcanzado en la última década en el aprovechamiento energético en residuos principalmente forestales, se visualiza la posibilidad de continuar profundizando la generación de energía eléctrica, energía térmica, así como los servicios y consultorías asociados a este tipo de residuos, para abastecer al mercado nacional y regional, tanto a nivel de operadores como de industria.

Figura 9. Hoja de ruta tecnológica sobre energía de biomasa



Hacia los próximos años (2020) y, condicionado a la inversión en investigación y desarrollo, se visualiza una tendencia hacia la sofisticación de las tecnologías de generación de biocombustibles, que aportará biocombustibles de segunda y tercera generación. A su vez, se identifica la incorporación de nuevos tipos de residuos para la generación de energía eléctrica, en particular el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. En este contexto, las empresas públicas UTE y ANCAP adquieren un rol fundamental asegurando el mercado para estos productos.

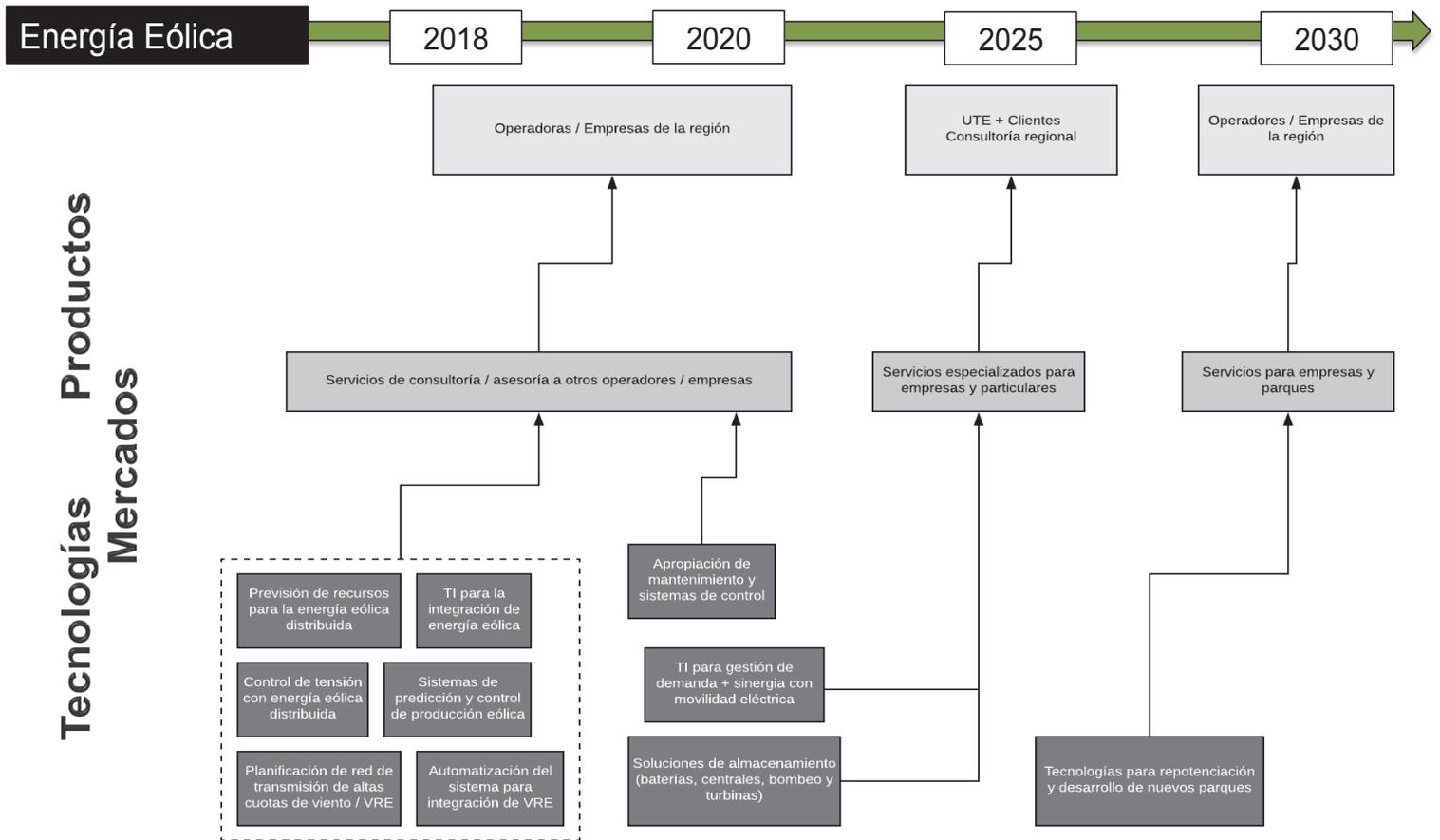
La tendencia en la generación de biocombustibles continúa a mediano plazo (2025), apuntando a la incorporación de combustibles de aviación. A su vez, mediante el desarrollo de pirólisis, se generan nuevos productos energéticos como el biocarbón y el gas de síntesis. Finalmente, hacia el largo plazo (2030) las tendencias identificadas se consolidan en la lógica de biorrefinerías, para la obtención de biocombustibles, biomateriales y otros productos vinculados con, por ejemplo, la alimentación. Esta consolidación acompaña la evolución hacia mercados más exigentes en criterios de sostenibilidad en la producción y apunta a mercados de biobasados, tanto domésticos como en el exterior.

Hoja de ruta tecnológica 5: Energía eólica

Las tecnologías seleccionadas en sistemas de energía eólica se encuentran diferenciadas en el plazo de desarrollo e implementación. En el corto plazo (2018–2020), podemos ver la identificación de tecnologías que profundizan la incorporación de generación eólica, no a través del diseño de los equipos de generación, sino a través de un mejor aprovechamiento y mejor gestión dentro del sistema eléctrico. Si bien se adquirió mucho conocimiento durante la última década, se visualiza una oportunidad en la mejora de los sistemas y modelos que permiten predecir el recurso disponible y controlar la producción, a través de la automatización del sistema. En paralelo, surge la necesidad de tecnología para la planificación de la red con alta incorporación de eólica, y de dotar de sistemas de información para el control de tensión de la red.

El desarrollo de estas tecnologías permitirá posicionar a Uruguay a la vanguardia regional e internacional, permitiendo ofrecer servicios concretos de asesoría a otros operadores de red o empresas de generación. La tecnología alcanzada será necesaria para otros operadores de red a futuro, en la medida que la participación de la energía eólica en la matriz de generación avance, tal como muestran las señales actualmente.

Figura 10. Hoja de ruta tecnológica sobre energía eólica



Hacia los próximos años (2020), y a partir de la experiencia adquirida localmente en la operación de los parques eólicos, se espera también una apropiación de la tecnología de sistemas de control y mantenimiento, con la posibilidad de ofrecer servicios a otros operadores en la región; potenciada por una continua reducción de los costos.

La incorporación de energías renovables no gestionables o variables (VRE) es la alternativa que parece más factible para el mediano y largo plazo y presenta el desafío de desarrollar soluciones que mitiguen la variabilidad. Las tecnologías identificadas para el mediano plazo (2025) van en esta línea y apuntan a incorporar almacenamiento en baterías, centrales de bombeo y turbinado, gestión de la demanda, incluyendo movilidad eléctrica. Estas tecnologías requieren la incorporación de soluciones de TI en la red eléctrica para interactuar con la generación y dan lugar a servicios especializados tanto para empresas como particulares (usuarios). El mercado lógico de inicio es el propio Uruguay, con la posibilidad de escalarlo a nivel regional.

Habiendo sido pionero en la incorporación de

energía eólica en la región, se alcanzará la etapa de repotenciación y desarrollo de nuevos parques antes que nuestros vecinos, lo que dará lugar a generar tecnología al respecto, en una visualización a más largo plazo (2030). Existen fabricantes de aerogeneradores, empresas privadas e incluso el caso de UTE, que dispone de parques propios, que podrán desarrollar *expertise* exportable hacia otros operadores y empresas de la región.

Hoja de ruta tecnológica 6: Energía solar fotovoltaica

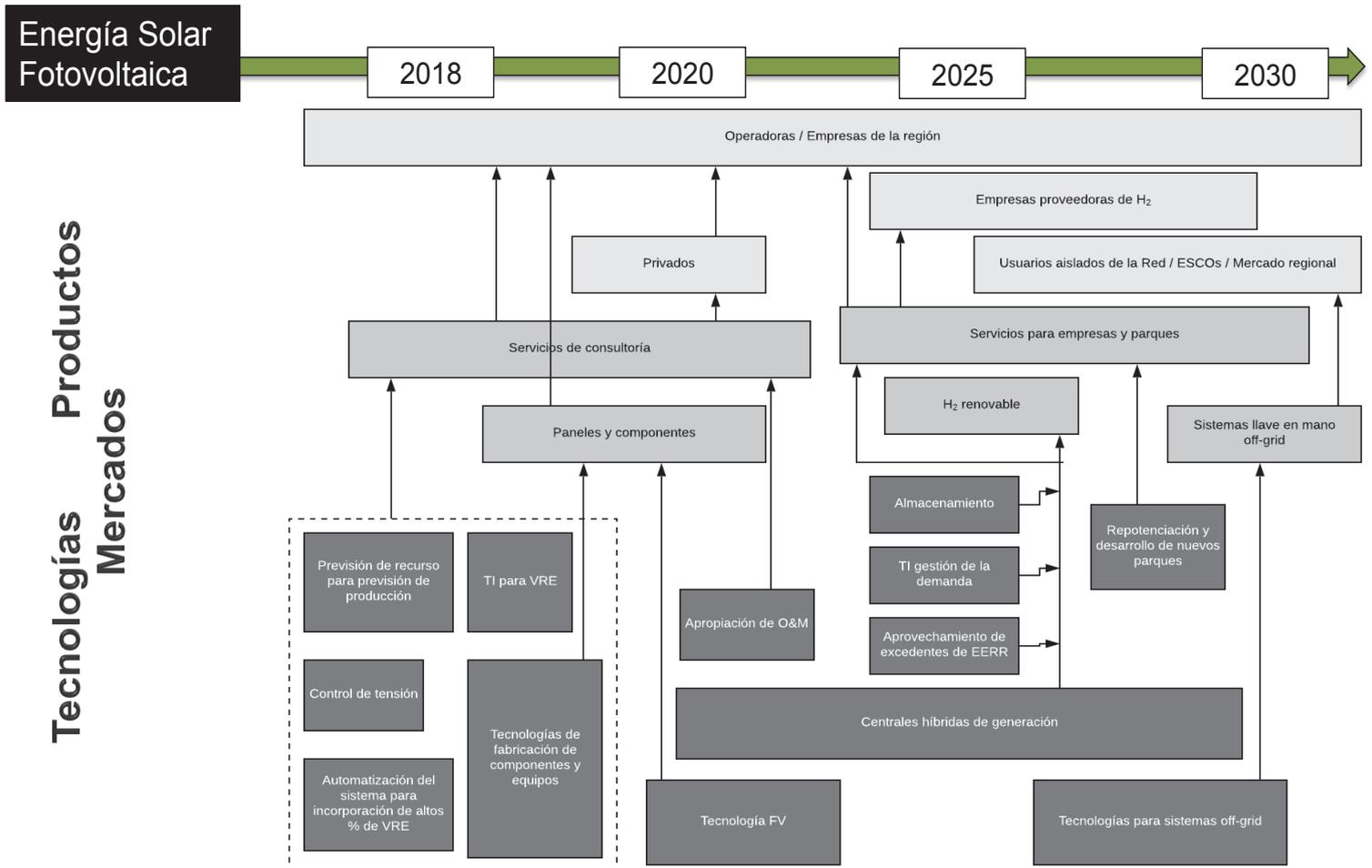
En el corto plazo (2018–2020), se identifica el desarrollo tanto de tecnologías que profundizan la incorporación de generación solar fotovoltaica a través de un mejor aprovechamiento y una mejor gestión dentro del sistema eléctrico, como el de componentes y equipos destinados a su generación.

Se visualiza una oportunidad en la mejora de los sistemas y modelos que permiten predecir el recurso disponible y control de la producción, a través de la automatización del sistema. En paralelo, surge la necesidad de tecnología para

la planificación de la red con alta incorporación de energía renovable variable, y la necesidad de dotar de sistemas de información para el control de tensión de la red. El desarrollo de estas tecnologías permitirá, al igual que se señaló en el caso de la energía eólica posicionar a Uruguay a la vanguardia regional e internacional, permitiendo

ofrecer servicios concretos de asesoría a otros operadores de red o empresas de generación. La tecnología alcanzada será necesaria para otros operadores de red a futuro, en la medida en que la participación de la energía renovable en la matriz de generación avance, tal como muestran las señales actualmente.

Figura 11. Hoja de ruta tecnológica sobre energía solar fotovoltaica



Hacia los próximos años (2020–2025), en la medida que se adquiere experiencia local en la operación de las centrales fotovoltaicas, se espera avanzar en la apropiación de la tecnología de sistemas de control y mantenimiento, con la posibilidad de ofrecer servicios a otros operadores en la región. Paralelamente, se espera poder profundizar en dos nuevas actividades en este período. Por un lado, el desarrollo de componentes principales asociados a estas centrales, en particular concretando el ensamblado de paneles solares fotovoltaicos. En otro orden, se espera que comiencen a desarrollarse centrales híbridas (eólica/solar), mediante complementación de parques eólicos preexistentes con instalaciones solares que permitan, por un lado, mejorar el factor de planta del conjunto (a partir de la complementariedad verificada en los recursos naturales) y, por otro, aprovechar la infraestructura existente para evacuar la energía generada. Para todas estas líneas, se visualiza un inicio de actividad a nivel local con la posibilidad de escalarlo a nivel regional (tal es el caso de la producción de paneles solares fotovoltaicos).

Las tecnologías identificadas para el mediano plazo requieren la incorporación de soluciones de TIC en la red eléctrica para interactuar con la generación, dándole lugar a servicios especializados tanto para empresas como para particulares.

Un papel importante se visualiza tenga en este período el desarrollo de tecnologías asociadas al uso de excedentes eléctricos y en particular el rol que la generación, comercialización y uso de Hidrógeno pueda presentar en el mercado local. En este caso se avisa simultáneamente la posibilidad, en la medida en que los costos se reduzcan, del desarrollo de instalaciones renovables híbridas dedicadas a prestar ese servicio.

Finalmente hacia el final de período (2030) se identifica además de la profundización del desarrollo de centrales híbridas el desarrollo de actividades asociadas a la repotenciación de centrales solares. Por otro lado, atendiendo a la tendencia de reducción de costos que verifica la tecnología y la que se prevé a futuro se identifica la posibilidad de que se desarrollen las opciones *off-grid*, generando demanda de nuevos servicios asociados por parte de usuarios que opten por desconectarse de la red de servicio público, las empresas de servicios energéticos y el mercado regional.

La experiencia desarrollada por los fabricantes de equipos y componentes, las empresas privadas que prestan servicios y por parte de UTE estaría habilitando la exportación de bienes y servicios a otros operadores y empresas de la región.

IV. Escenarios de las energías renovables del Uruguay al 2050

Los escenarios que se presentan en este capítulo, fruto del proceso prospectivo, son imágenes de un futuro para el sector de las energías renovables en Uruguay treinta años adelante. Con el diseño de los escenarios se respondió a la siguiente pregunta: ¿Qué alternativas tiene el sector de las energías renovables, para el futuro?

Se pueden tipificar cuatro tipos de futuro: posible, probable, apuesta y deseable. Entre los múltiples futuros posibles, unos pocos alcanzan buenas razones de ocurrencia: son los futuros probables. Pero entre los posibles y probables, se elige uno solo para ser construido, que recibe el nombre de futuro «apuesta». Este futuro corresponde a los anhelos conjugados con las capacidades de quienes lo quieren construir.

Con el objeto de determinar las alternativas de futuro del sector de las energías renovables en Uruguay, se utilizó la técnica de análisis morfológico que permite combinar las distintas

alternativas de hipótesis de comportamiento futuro de las variables estratégicas. Para la elaboración de dichas hipótesis se realizó un taller con actores clave del sistema energético nacional. En dicha instancia se trabajó en la definición de hipótesis conceptualmente pertinentes con las respectivas variables estratégicas. Para ello, las hipótesis deben cumplir tres condiciones: ser conjeturales, posibles y alternas.²¹ Cabe mencionar que en este caso todas las hipótesis han sido de avance con respecto a la situación actual; esto se realizó con el fin de generar escenarios desafiantes y a su vez deseables en el futuro.

A continuación, presentamos las variables y las hipótesis a que dan lugar cada una, y que permitirán diseñar los escenarios o visiones de futuro del sector de energías renovables del Uruguay.

21 *Conjeturales*: quiere decir que se trata de situaciones que aún no existen. *Posibles*: indica que son situaciones en potencia pero que pueden convertirse en situaciones reales, por lo tanto pertenecen al campo de lo realizable. *Alternas*: advierte que deben ser conceptos excluyentes.

Cuadro 2. Variables estratégicas y sus definiciones

Rol estatégico de las empresas públicas	<ul style="list-style-type: none">• Es el papel protagónico que las empresas públicas, y en particular la UTE, ejercen en la producción y distribución de la energía u otros servicios en el país.
Generación de investigación, desarrollo e innovación	<ul style="list-style-type: none">• Promoción de la generación de conocimiento aplicado al sector de renovables (por ejemplo desarrollo de prototipos, capacidades de mantenimiento y reciclaje, tanto pública como privada)
Capacidades de producción de bienes y servicios	<ul style="list-style-type: none">• Es la potencialidad que posee el Uruguay (condiciones técnicas y económicas) para llevar a cabo la producción de bienes y servicios destinados al sector de las energías renovables
Desarrollo social	<ul style="list-style-type: none">• Se refiere a la mejora de la calidad de vida (infraestructura, educación, calidad del aire, etc.)
Marco ambiental	<ul style="list-style-type: none">• Es la definición, adaptación y fiscalización de normas ambientales en Uruguay
Cultura de la sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none">• Son los cambios en los modos de producción y hábitos de consumo hacia procesos, productos y servicios energéticos más sostenibles.

Cuadro 3. Hipótesis de futuro por variable

Rol estratégico de las empresas públicas

- Mantenerse en la vanguardia de aprovechamiento de los recursos renovables
- Promover y desarrollar tecnologías emergentes del recurso y de la gestión
- Integración regional que incluye planificación y optimización hacia la utilización de las infraestructuras y recursos.

Generación de investigación, desarrollo e innovación

- Nuevas herramientas efectivas para la generación de I+D+i aplicadas (inversión pública significativa, potenciar sinergias entre investigación y sector productivo)
- Nuevas herramientas efectivas para la generación de I+D+i aplicadas (inversión pública significativa, potenciar sinergias entre investigación y sector productivo) y asociación regional e internacional para el desarrollo de la investigación.
- Nuevas herramientas efectivas para la generación de I+D+i aplicadas (inversión pública significativa, potenciar sinergias entre investigación y sector productivo), asociación regional e internacional para el desarrollo de la investigación e Inversión en I+D+i por parte de la empresa privada.

Capacidades de producción de bienes y servicios

- Adaptación de las capacidades existentes para proveer bienes y servicios mejorados al sector de renovables.
- Generación de nuevas líneas de productos y servicios de alto valor agregado para abastecer el sector de renovables de forma competitiva
- Generación de productos y servicios de alto valor agregado siendo referentes para el mercado regional

Desarrollo social

- Acceso asequible de la energía al 100 % al sector residencial, industrial y servicios
- 100 por ciento de transportes sustentables (mejora en la salud por calidad del aire y ruido)
- Viviendas energéticamente resilientes para el 100 % de los hogares vulnerables

Marco ambiental

- Plena capacidad de cumplimiento de las normas, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos. Énfasis en normas locales
- Plena capacidad de cumplimiento de las normas, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos y normas ambientales conductoras del comportamiento futuro de la industria. Énfasis en mejores normas internacionales aplicables a nivel de la industria
- Plena capacidad de cumplimiento de las normas, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos y normas ambientales conductoras del comportamiento futuro de la industria. Énfasis en mejores normas internacionales aplicables a nivel de la industria y normas ambientales conductoras del comportamiento futuro de la sociedad

Cultura de la sostenibilidad

- Priorización de los criterios de sostenibilidad, por sobre otros, en un 30% de la población
- Priorización de los criterios de sostenibilidad, por sobre otros, en un 65% de la población
- Priorización de los criterios de sostenibilidad, por sobre otros, en un 80% de la población

Las combinaciones de las hipótesis de estas variables son imágenes de futuro conjeturales que dan lugar a escenarios posibles. El número de combinaciones se denomina «espacio morfológico» y se estima multiplicando entre sí el número de hipótesis de cada variable. Para

nuestro caso, el espacio morfológico representa 729 combinaciones o escenarios posibles, entre los cuales el grupo de expertos eligió los cuatro indicados en la figura 11, por considerarlos más probables o más interesantes.

Figura 11. Escenarios y combinación de hipótesis



A continuación, se presentan los relatos que dan sustento a cada escenario en función de la articulación de las hipótesis que los conforman, según se muestra en el cuadro anterior. Como

puede observarse, hay hipótesis que se repiten en más de un escenario ya que no se elaboraron en forma excluyente, lo que se ve reflejado en partes de los relatos que son similares.

Escenario 1: Uruguay del conocimiento

En Uruguay, las empresas públicas vinculadas a la generación y distribución de energía han tomado como bandera la promoción y el desarrollo de tecnologías emergentes de energías renovables, tanto tecnologías vinculadas al recurso natural como a la gestión (o tecnologías blandas), con lo cual el país se ha colocado a la vanguardia del aprovechamiento de los recursos renovables. Existen nuevas tecnologías asociadas con las energías renovables, fruto de investigación e innovación, lo cual se ha logrado gracias a una inversión pública importante para su financiamiento y al potenciamiento de sinergias con el sector productivo.

De esta manera, se ha obtenido una notoria mejoría en la capacidad de producción de bienes y de servicios del sector de las energías renovables. Ha sido sensible la mejora en la calidad del aire y del ruido, en virtud del logro de un transporte sustentable en el cien por ciento de los casos.

El país ha enfatizado la aplicación de las normas ambientales internacionales, y obtenido una plena capacidad de cumplimiento de las mismas, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos. Si bien estas transformaciones han sido sobresalientes, es importante señalar el cambio ocurrido en la cultura de los uruguayos: un 65 % opina que son prioritarios los criterios de sostenibilidad por encima de otros.

Escenario 2: Uruguay alta performance

Las empresas públicas han cumplido un papel en la promoción y el desarrollo de tecnologías emergentes, tanto las vinculadas con el recurso natural como las relativas a la gestión (o tecnologías blandas), con lo cual el país se ha colocado a la vanguardia del aprovechamiento de los recursos renovables.

Existen nuevas tecnologías asociadas con las energías renovables, fruto de la investigación y la innovación, logradas gracias a una inversión pública importante para su financiamiento y también en virtud del decidido apoyo de la empresa privada. Como consecuencia de lo anterior, el país cuenta con productos y servicios energéticos de alto valor agregado que lo han posicionado como referente en el mercado regional.

La incursión exitosa en las energías renovables ha permitido victorias significativas en desarrollo social, como la puesta en pie de viviendas energéticamente resilientes para el cien por ciento de los hogares vulnerables.

En cuanto a la legislación ambiental, el país está aplicando las normas ambientales internacionales referentes a la industria, y obtenido una plena capacidad de cumplimiento, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos. Pero, tal vez, uno de los logros más sobresalientes ha sido la adquisición de una cultura de la sostenibilidad por parte del 65 % de la población.

Escenario 3: La Suecia de América

El papel de las empresas públicas en la promoción y el desarrollo de tecnologías emergentes, tanto para los recursos naturales como para la gestión, ha permitido adoptar tecnologías blandas, lo que ha colocado el país a la vanguardia del aprovechamiento de los recursos renovables.

Existen nuevas tecnologías asociadas con las energías renovables, como fruto de investigación e innovación, logrado gracias a una inversión pública importante para su financiamiento y a la aportada por el sector privado. Como consecuencia de lo anterior, el país cuenta con productos y servicios energéticos de alto valor agregado, que lo han posicionado como referente en el mercado regional.

La incursión exitosa en las energías renovables ha permitido victorias significativas en desarrollo social, como es el caso de la puesta en pie de viviendas energéticamente resilientes para el cien por ciento de los hogares vulnerables. En el ámbito de la normatividad ambiental, el país se encuentra en plena capacidad de cumplimiento de las normas, especialmente locales, no solamente en cuanto a la fiscalización sino también por la autorregulación de las empresas a la hora de implementar procesos.

Pero, tal vez, el logro más sobresaliente ha sido la adquisición de una cultura de la sostenibilidad por parte del 65 % de la población.

Escenario 4: Casi inverosímil

La función primordial de las empresas públicas ha sido la promoción regional sobre la base de capacidades de planificación y optimización de las infraestructuras y recursos energéticos.

Existen nuevas tecnologías asociadas con las energías renovables, fruto de investigación e innovación, logrado gracias a una inversión pública significativa para su financiamiento y a la inversión de empresas privadas. Como consecuencia de lo anterior, el país cuenta con productos y servicios energéticos de alto valor agregado, que lo han posicionado como referente en el mercado regional.

La incursión exitosa en las energías renovables ha permitido victorias significativas en desarrollo social como la disponibilidad de viviendas energéticamente resilientes para el cien por ciento de los hogares vulnerables. En el ámbito de la normatividad ambiental, el país se encuentra en plena capacidad de cumplimiento de normas vigentes en el orden internacional. Este se verifica especialmente para las normas ambientales conductoras del comportamiento de la industria, no solamente en cuanto a la fiscalización sino también respecto de la autorregulación de las empresas a la hora de instrumentar procesos, lo que incluye las normas ambientales conductoras del comportamiento futuro de la sociedad. Lo anterior explica que el logro más sobresaliente haya sido la adquisición de una cultura de la sostenibilidad por parte del 65% de la población.

V. Escenario «apuesta»: Uruguay alta performance

El escenario apuesta es el más deseable entre los posibles y probables; es aquel hacia el que se considera que las políticas públicas deben apuntar. Para su elección, una vez elaborados los relatos de los cuatro escenarios presentados en el capítulo anterior, se utilizó en este estudio la metodología del Ábaco de François Régnier.²²

Se pidió a los expertos que calificaran los cuatro escenarios presentados en el capítulo anterior, empleando el criterio de «recomendabilidad» (desde muy recomendable a no recomendable) y considerando unas ciertas deseabilidad y factibilidad, para cuya distinción se sirven de los colores del ábaco.²³ El resultado se observa en el cuadro 4.²⁴

Cuadro 4. Resultado de la metodología del ábaco.

02 Uruguay alta performance				
04 Casi inverosímil				
03 La Suecia de América				
01 Uruguay del conocimiento				

Como se puede apreciar, los decisores del futuro de las energías optaron por el escenario Uruguay alta performance como escenario apuesta. En comparación con el escenario casi inverosímil, presentaba retos a su juicio más alcanzables, en particular en lo referente al papel de las empresas públicas, ya que, con respecto al resto de las hipótesis, este escenario no muestra mayores diferencias.

El escenario Uruguay alta performance indica un futuro susceptible de ser logrado hacia 2050, según la percepción de los expertos del sector de energías renovables consultados. Pero el camino desde el año 2018 hacia adelante no necesariamente es expedito sino sembrado de dificultades, de escollos y de altibajos. Así que

es esencial reconocer tanto las circunstancias favorables como los obstáculos de la travesía, con el propósito de situar en su justo sitio la imagen de futuro que encierra la idea conjetural de las energías renovables del Uruguay que se ha denominado «alta performance». Por ello, mediante un análisis de probabilidades, se precisó la probabilidad de ocurrencia del escenario reconociendo sus debilidades y, por ende, las condiciones de realización para consolidarse en el futuro. Los expertos calificaron las seis hipótesis de futuro que conforman el escenario apuesta Uruguay alta performance con el objeto de explorar qué tan robustas eran para ser logradas en el horizonte establecido. Llamaremos eventos (E) a estas hipótesis y con ello verificaremos qué

22 El Ábaco de Régnier es un método original de consulta a expertos, diseñado para interrogar a los especialistas y procesar sus respuestas, en tiempo real o por correo, gracias a un voto basado en una escala de colores. Como todos los métodos de especialistas, está destinado a reducir la incertidumbre, confrontar el punto de vista de un grupo con el de otros y, a la vez, tomar conciencia de la mucha o poca variedad de opiniones.

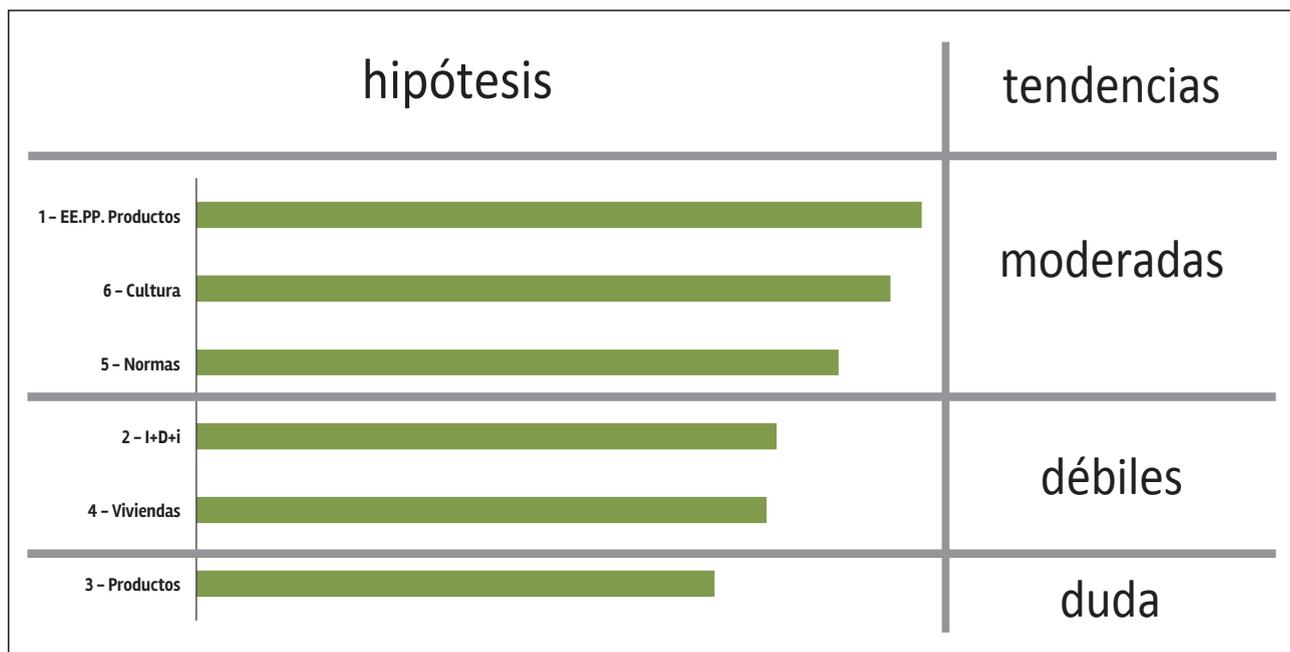
23 Verde oscuro, muy recomendable; verde claro, recomendable; gris, poco recomendable; negro, no recomendable.

24 Para este análisis se conformaron cuatro grupos de trabajo de expertos que corresponden a las cuatro columnas del cuadro.

fuerzas posee el escenario apuesta para alcanzar el futuro. La probabilidad de estos eventos, según la calificación asignada por los expertos, se muestra en el cuadro 5. La calificación asignada responde a una escala de probabilidades que va de 0 a 1, donde una valoración promedio mayor

a 0,6 supone que los expertos evaluaron como «moderada» la probabilidad de ocurrencia de la hipótesis,²⁵ una valoración entre 0,5 y 0,6 refiere a una probabilidad «débil» y con una valoración menor de 0,5 se considera que es dudosa la ocurrencia de la hipótesis.

Cuadro 5. Análisis de probabilidad de ocurrencia de las hipótesis del escenario apuesta



Este resultado muestra hacia dónde se está dirigiendo el sector de energías renovables. El sector está apoyado sobre tres pilares que solo tienen la fuerza de tendencias moderadas: el desempeño de las empresas públicas, la cultura de los uruguayos en torno del respeto por el medio ambiente y la normativa alineada con los cánones internacionales. Esta última, en este momento, es más un «hecho portador de futuro» que un fenómeno ciento por ciento real.

Por su parte, el desempeño de la investigación y la innovación y sobre todo su presupuesto y su articulación internacional, así como la construcción de viviendas resilientes en sectores sociales vulnerables son tendencias débiles.

Hay duda con respecto a la generación de productos de alto valor agregado para el sector de las energías renovables, como vehículos eléctricos e insumos para el desempeño de estas tecnologías.

Los diferentes eventos pueden reclamar argumentos tanto a favor como en contra respecto de su capacidad de realización en el futuro, de manera que el peso de los unos frente a los otros determina una mayor o menor probabilidad de ocurrencia y necesariamente define la fuerza de la tendencia. A continuación se analiza con mayor detalle cada grupo de eventos.

²⁵ A los efectos de este capítulo, y respetando la metodología definida, a esta probabilidad de ocurrencia de los «eventos» se la denominará «tendencia».

V.1. Eventos de tendencia moderada

Hipótesis 1: Generación de productos y servicios de alto valor agregado por parte de las empresas públicas, como referentes para el mercado regional

Esta hipótesis es la que los expertos valoran como de mayor probabilidad de ocurrencia (70 %), de donde se puede inferir el papel protagónico que tienen las empresas públicas en el desarrollo del sector. El país cuenta con excelentes recursos naturales para poner en marcha las energías renovables, al punto de que cuenta en el presente con logros importantes en la oferta de servicios vinculados con la distribución eléctrica, de que existen clientes con telemedida, tarifas dinámicas, información en línea de generación, pronósticos, lo que hace presumir que sea factible continuar por este camino. Si además tenemos en cuenta el crecimiento que puede experimentar el transporte eléctrico, Uruguay por su tamaño puede rápidamente promover cambios que afecten la gestión de la demanda y la matriz energética, proveyendo un número importante de nuevos servicios.

Actualmente, algunas empresas ofrecen servicios de vanguardia y Uruguay se ha transformado en referente en la incorporación y gestión de la energía eólica. De hecho, la experiencia en la introducción de este tipo de energía ha sido importante para el desarrollo de empresas que se están volcando al mercado regional y, si incrementa su inversión en energía solar fotovoltaica, al país no le será difícil llegar a constituirse como referente regional. En síntesis, es muy probable que se mantenga el rol hegemónico de las empresas públicas clave (UTE, ANCAP y ANTEL)²⁶ en el sector energía. Sin embargo, también vale la pena aclarar que un 30 % de los expertos le otorgó menor probabilidad de ocurrencia a esta hipótesis dado que se requiere una política clara en ciencia y tecnología para este sector, teniendo en cuenta la generación de bienes y servicios orientados al mercado regional e internacional.

Si bien la generación de secciones o programas de I+D en empresas grandes parece ser natural, en Uruguay esto es bastante reciente y todavía existe una alta dependencia de paquetes tecnológicos importados. Al tratarse de empresas hegemónicas, puede haber pocas oportunidades de interacción con otros actores, fundamentalmente del sector privado.

Hipótesis 6: Adquisición de conciencia de priorización de los criterios de sostenibilidad, por parte de un alto porcentaje de la población

El segundo fenómeno de apoyo del sistema, que representa una tendencia a su favor aunque moderadamente, es la predisposición de la población a tomar posiciones favorables frente a la sostenibilidad, y por ende favorables al desarrollo de las energías renovables.

Los argumentos que operan a favor de la ocurrencia de la hipótesis pesan 67 % y se relacionan con que se perciben cambios en los hábitos de consumo responsable, enfocados fundamentalmente a la salud. Fueron pioneras al respecto las leyes restrictivas en productos como el tabaco, de muy buena respuesta en la población. Adicionalmente, las campañas de eficiencia energética están incluyendo cada vez más electrodomésticos para que se incorporen otros aspectos más allá del precio. Todo esto juega a favor de una valorización de la sostenibilidad. Por otra parte, las generaciones futuras vienen siendo educadas con criterios de sostenibilidad y de respeto al medio ambiente y los programas de sensibilización en temas ambientales son fácilmente transferibles a la población.

Lo anterior está sintonizado con una tendencia mundial en tal sentido, por lo que parece muy probable continuar por este camino, amparado por un alto nivel de educación en la clase media uruguaya. A los argumentos anteriores se oponen las razones siguientes, que explican por qué la tendencia es solo moderada. Por una parte, Uruguay es un país con abundancia de recursos naturales, lo que hace lenta la conscientización ambiental. Por otra, existen economías de subsistencia y la población de más

²⁶ Cabe la aclaración de que, si bien Antel no es una empresa estrictamente del sector energético, la conectividad será clave en determinados sectores del proceso de oferta de energía; el caso más emblemático es la gestión de la demanda de energía.

alto ingreso, que se ubica en el último quintil, no necesariamente prioriza la sostenibilidad de cara a su interés económico.

Hipótesis 5: Normas ambientales alineadas con las mejores normas internacionales conductoras del comportamiento futuro de la industria

La normativa ambiental y su internacionalización son el tercer pilar de apoyo del sistema, aunque esto último es un germen de futuro, es decir un fenómeno solamente potencial por ahora.

Los argumentos que apoyan la realización de la hipótesis tuvieron un peso equivalente al 62 % y se basan sobre que hay ciertas normas ambientales que Uruguay ya adoptó y por la vía de leyes es muy factible que el país lleve a cabo mejoras en la normativa ambiental e innove al respecto. De hecho, la legislación referente a energía eólica se elaboró con cierta rapidez y es un buen modelo a seguir por parte de otros sectores de las energías renovables. Con seguridad, pesó mucho la conciencia ambiental actualmente en auge. Por otra parte, si bien en la actualidad puede haber algunas dificultades de fiscalización, no parece que sea un problema de difícil solución.

Además, el país cuenta con algunas capacidades internacionales; de hecho, los últimos emprendimientos (pasteras, etc.) de empresas internacionales instalados en Uruguay han seguido este tipo de normas. Finalmente, las futuras generaciones pueden tener mayor conciencia y ejercer mayor presión, debido a la educación, los medios, etcétera sobre los temas ambientales.

Los argumentos contrarios refieren a que hay escollos políticos, culturales y económicos. La fiscalización de las normas ambientales es bastante elusiva. No hay cultura de los empresarios en el autocontrol de los contaminantes, de allí que un sistema punitivo es el más adecuado para implementar las leyes. Se observa debilidad en las políticas públicas articuladas con la educación. Por otra parte, la entidad que representa al estado en este campo, la Dirección Nacional del Medio Ambiente (DINAMA), detenta un poder muy escaso.

Económicamente, la implementación de algunas normas ambientales de primer mundo tiene costos muy altos para el país, y hoy no existe una afectación significativa al ambiente, vinculada con los energéticos empleados actualmente, para estar alineados con las normas ambientales más exigentes a nivel mundial. Por otra parte, dado el contexto país, existen otras urgencias o prioridades donde volcar recursos. Además, en algunos casos, la aplicación de normativa es balanceada con los costos económicos asociados y la pérdida de competitividad que acarrea.

V.2. Eventos de tendencia débil

Hipótesis 2: Significativa inversión en investigación, desarrollo e innovación por parte tanto del sector público como del privado, en un marco de asociación regional e internacional

La investigación y la innovación son otras columnas para el sostén del edificio de las energías renovables. Su peso como tendencia es menor que las anteriores. Se tipifica como tendencia débil porque, si bien hay argumentos favorables que la hacen emerger como tendencia y que valen 56 %, sufren el contrapeso de otros que operan en contra y que valen el 44 %.

Por un lado, el país dispone de un tejido interinstitucional de soporte, reflejado en laboratorios académicos con buena base en número de investigadores y tecnólogos. Existen actualmente instituciones y herramientas sólidas como el Fondo Sectorial de Energía (ANII), el Fideicomiso Uruguayo de Ahorro y Eficiencia Energética (FUDAEE), apoyo a las empresas públicas y un sistema establecido, que incentiva la investigación y la innovación.

Hay buenos augurios en cuanto al desarrollo científico tecnológico del país, si, en un período de tiempo razonable, se logra triplicar la inversión en ciencia y tecnología; por ejemplo, si se la lleva del 0,36 % del PBI actual al 1 % en cinco años, esto repercutirá en el crecimiento de

la comunidad de científicos y en mayor inversión en I+D en las empresas públicas, para generar capacidad propia de investigación e innovación.

Una variable fundamental es la formación de talento humano de alto desempeño. Al respecto, la política de la Universidad de la República es producción de investigadores para este sector, que se puedan volcar al sector de empresas tanto públicas como privadas. Las Universidades privadas buscarán generar expertos que puedan ubicarse mayoritariamente en el sector privado y en menor medida en el sector público. Los resultados dependerán del perfil del profesional que se forme y de la flexibilidad de las instituciones de educación superior para abordar las tecnologías del futuro.

Por otro lado, serán necesarias nuevas capacidades de investigación e innovación y nuevas infraestructuras de laboratorio y plantas piloto, en temas vitales donde no se ha incursionado todavía. Asimismo, se requiere activar los apoyos institucionales actuales en Investigación, Desarrollo e Innovación y un presupuesto más generoso en este campo, en particular desde las empresas públicas. Es necesario también que la empresa privada se vincule mayormente al respecto y que se fortalezca el vínculo entre la academia y los sectores productivos.

La clave está en las políticas públicas. Las políticas de inversión en ciencia y tecnología deben ser promovidas como políticas de estado, en pos de su continuación en el tiempo mediante consensos políticos.

En cuanto al papel de la educación superior, es necesario alinear claramente los objetivos de desarrollo del país en materia de energías renovables con los propósitos académicos de las universidades públicas y de las privadas, que no suelen ordenarse con los objetivos estratégicos del país, sino con los del mercado, y en algunos casos se superponen en el alcance.

Hipótesis 4: Viviendas energéticamente resilientes para un muy alto porcentaje de los hogares vulnerables

El contar con viviendas resilientes, destinadas en particular a los estratos bajos de la población, es solo una tendencia débil (55 %), debido al peso de los argumentos que se le contraponen (45 %).

Los argumentos a favor son que Uruguay cuenta con planes de vivienda para sectores vulnerables; por ejemplo, planes de MVOTMA, MEVIR, cooperativas, Plan Juntos, ANV. Es obvio que ello depende de que se continúe con un crecimiento económico sostenido a lo largo del tiempo y con las políticas sociales de los últimos años. Pero además está probado que la curva de costo de las tecnologías vinculadas a las energías renovables es descendente y esto facilita hacerlas progresivamente más accesibles para las poblaciones vulnerables. Por otra parte, se cuenta con importantes capacidades técnicas en el sector construcción y una mayor cooperación interinstitucional.

Los argumentos que obran en contra de la realización de la hipótesis (45 %) son que las viviendas de clase baja, media y hasta media-alta no disponen hoy en día de calidad de instalaciones para calor-frío, ni son diseñadas para ser energéticamente resilientes. El costo de estas instalaciones es tan elevado que ni siquiera es considerado por sectores pudientes de la población. Para que la ecuación le sea conveniente al consumidor, tendrán que bajar los costos de instalación y mantenimiento.

No está claro que sea una prioridad del estado a largo plazo la resiliencia a los efectos climáticos o los vaivenes económicos. Por otra parte, existen limitaciones económicas importantes a nivel país, para lograr que los hogares vulnerables y/o de los quintiles inferiores puedan realojarse, y posean viviendas adecuadas a tales efectos. Además, las transformaciones habitacionales demoran muchísimos años en concretarse; por ejemplo, es muy difícil cambiar el *parque* de viviendas de una ciudad o de un país. Finalmente, existe una muy baja coordinación de políticas de vivienda y energía, y este tipo de modificaciones requieren ser incorporadas desde el momento de construcción.

V.3. Evento de duda

Hipótesis 3: Generación de productos y servicios de alto valor agregado, por parte de las empresas privadas nacionales, en tanto referentes para el mercado regional

Hay un empate entre los argumentos que juegan a favor de la generación y producción de bienes y servicios de alto valor agregado en el campo de las energías renovables. No se podría hablar de tendencia debido a que los argumentos a favor muestran el mismo peso (50 %) que los argumentos en contra (50 %).

Por el lado positivo, hay logros importantes del país en un mercado muy amplio, tanto interna como externamente. Para el caso del transporte eléctrico, Uruguay, por su tamaño, puede cambiar rápidamente de matriz energética para el transporte. El gran desafío es generar empresas nacionales que produzcan bienes tecnológicos de valor agregado (plaquetas para controladores, carenado, soportes de paneles, calderas chicas de biomasa, etc.) o secciones o partes de una tecnología dada.

Actualmente, las empresas de servicios del país son de vanguardia y Uruguay es hoy referente en energía eólica. De hecho, la experiencia en la introducción de este tipo de energía ha sido importante para el desarrollo de empresas que se están volcando al mercado regional y, si es incrementada la inversión en energía solar fotovoltaica, el país podría eventualmente constituirse en referente regional.

Por el lado negativo, se requiere nuevamente una política clara en ciencia y tecnología para este sector, teniendo en cuenta la generación de bienes referentes al mercado regional e internacional. El panorama muestra que en ausencia de apoyos específicos a las empresas nacionales, serán las empresas de capitales extranjeros las que van a establecerse en el mercado regional en forma más inmediata. Además, los países vecinos (Argentina y Brasil) cuentan con mayor poder productivo y mayor mercado, en términos relativos. Por ahora, el país manifiesta limitaciones importantes para la generación de productos que le permitan ser altamente competitivo, tales como una línea baja de base: los productos que genera no son especializados, es decir tienen un escaso valor agregado, hace falta mayor impulso por parte de las empresas públicas y por parte del estado y una mayor inversión del sector privado.

VI. Mapa estratégico: lineamientos para alcanzar el escenario meta

El escenario Uruguay alta performance es entonces la mejor visión del futuro de las energías renovables del Uruguay al año 2050. Sin embargo, un escenario es solo una idea, y para que esta idea se convierta en realidad es necesario poner en práctica una serie de acciones hacia la consolidación paulatina de lo que este escenario implica. En otras palabras, el camino desde el presente al futuro supone una adopción de estrategias que, para efecto de este trabajo, ha sido definida como una sumatoria de objetivos y acciones. Las acciones, además, deberán ser convertidas en proyectos mediante los cuales Uruguay, con el apoyo de sus actores sociales (estado, medios de producción, academia y sociedad civil), emprenda la travesía hacia su futuro.

VI.1. Lineamiento estratégico 1: tecnologías del futuro

Se refiere al conjunto de tecnologías de futuro que combinan pertinencia, atractivo y factibilidad para Uruguay, según el resultado de la prospección. Dichas tecnologías son las que surgieron en la etapa de Prospectiva Tecnológica. En ella, se recogieron algunas hojas de ruta tecnológicas. A continuación, se ofrece un resumen de los resultados obtenidos y consideraciones para cada una de las hojas de ruta.

Energías renovables y sostenibilidad

a. El avance tecnológico y el crecimiento exponencial del mercado de vehículos eléctricos puros o híbridos en sus variaciones enchufables o no enchufables (PHEV y HEV) es acompañado actualmente por avances en los sistemas de carga, tanto los simples como los inteligentes. Esto permite prever en el corto plazo (2018–2020) el desarrollo y fabricación

de productos como los dispositivos de carga o autopartes, así como también el desarrollo de *software* y servicios TIC asociados a la gestión de movilidad eléctrica y microrredes.

- b. En un horizonte 2020–2025 donde existe una alta penetración de energía solar fotovoltaica en la red, las tecnologías TIC permitirán el desarrollo de *software* de planificación de la red de distribución, así como también de *software* de pronóstico de generación fotovoltaica.
- c. En un horizonte 2020–2025, el avance de las mencionadas tecnologías, así como la popularización de otras como las de las baterías para acumulación y la generación fotovoltaica residencial, permitirán profundizar las soluciones de *hardware* y *software* para gestionar de forma óptima la demanda nacional.
- d. Nuevos materiales y componentes para construcción eficiente permitirán el desarrollo de empresas que brinden asesoría en modelación de edificios (tanto nuevos como existentes), cuyo mercado lo constituirá principalmente el sector de la construcción.

Distribución y transmisión

- a. En el corto plazo, las tecnologías de predicción y control de generación de eólica, así como las necesarias para el control de la tensión de la red, aparecen como las necesarias para brindar servicios de tarifa en tiempo real, que acompañen la realidad de generación variable hora a hora.
- b. A mediano plazo (2020–2030) se irán incorporando paulatinamente medidores inteligentes a todos los consumidores

- eléctricos, que dotarán de capacidad de medir y conocer remotamente el comportamiento de la demanda.
- c. El uso de electrodomésticos gestionables (IoT) y la incorporación de vehículos eléctricos serán una realidad en los próximos años, completando la posibilidad de gestionar prácticamente el cien por ciento de la demanda.
- d. El mayor desafío y oportunidades de desarrollo de tecnología está asociado con el manejo de datos en gran escala (*big data*), con la seguridad de los datos personales y con la operación del sistema.
- b. Debido al desarrollo alcanzado en la última década en el aprovechamiento energético en residuos principalmente forestales, se visualiza la posibilidad de continuar extendiendo la generación de energía eléctrica.
- c. Finalmente, hacia el largo plazo, las tendencias identificadas se consolidan en la lógica de biorrefinerías, para la obtención de biocombustibles, biomateriales y otros productos con destino, por ejemplo, a alimentación.

Energía eólica

- a. En el corto plazo, podemos ver la identificación de tecnologías que profundizan la incorporación de la energía eólica principalmente a través de un mejor aprovechamiento y una mejor gestión dentro del sistema eléctrico.
- b. Hacia los próximos años y en la medida que se adquiere experiencia local en la operación de los parques eólicos, también se espera una apropiación de la tecnología de sistemas de control y mantenimiento.
- c. Las tecnologías identificadas para el mediano plazo van en la línea de incorporar energías renovables no gestionables o variables, apuntando a desarrollar almacenamiento en baterías, centrales de bombeo y turbinado, y gestión de la demanda que incluya movilidad.

Energía de biomasa

- a. En el corto plazo, se identifican tecnologías de suministro y logística de residuos agrícolas, silvícolas y agroindustriales, permitiendo un mejor aprovechamiento y gestión de los residuos para emplearlos como combustible en combustión directa y co-combustión, así como para obtención de energéticos a través de la digestión anaeróbica, la gasificación y la fermentación.

Objetivo

Implementar las tecnologías surgidas en la etapa de Prospectiva Tecnológica y mencionadas en esta sección, y que se estima serán requeridas en Uruguay para desarrollar el futuro de las energías renovables.

Proyectos

- a. Impulso a iniciativas de emprendimiento basadas en el aprovechamiento intensivo de recursos humanos locales capacitados, a partir de mecanismos concretos dados por un marco normativo adecuado para cada tecnología,²⁷ como, por ejemplo, la promoción de parques tecnológicos energéticos, con apoyo y beneficios específicos, y de la compra de sus productos y servicios.
- b. Generación de instrumentos para desarrollar prototipos de escala significativa en las tecnologías seleccionadas, asociando las empresas públicas con las universidades y las empresas privadas, con provisión del capital necesario.
- c. Desarrollo de programas de aprendizaje e imitación como ingeniería de reversa, licenciamiento, con intercambio tecnológico a nivel internacional.

27 Como modelo, en nuestro país existe el decreto 173/010 que fomenta la microgeneración de energía mediante distintos incentivos.

VI.2. Lineamiento estratégico 2: rol estratégico de las empresas públicas

El rol estratégico será el papel protagónico que las empresas públicas energéticas ejercen en la producción y distribución de la energía u otros servicios en el país.

Objetivo

Mantenerse en la vanguardia del aprovechamiento de los recursos renovables (promoviendo y desarrollando nuevos productos y servicios).

Proyectos

- a. Fortalecimiento del sistema nacional de asignación de inversión con gestión de resultados económicos, sociales y ambientales, contemplando las externalidades en el mediano y largo plazo. Mayor flexibilidad en la capacidad de inversión de las empresas públicas. Las inversiones realizadas por las empresas públicas serán evaluadas constantemente, de tal forma que generen ganancias no solamente económicas, sino también sociales y ambientales; y que se encuentren alineadas con las políticas de desarrollo llevadas adelante por el país y en el marco de la Estrategia Nacional de Desarrollo.
- b. Organización de grupos de trabajo con representantes de las empresas públicas, con el fin de generar optimización en la planificación a largo plazo.
- c. Asignación de recursos de las empresas públicas en tres áreas fundamentales:
 - Financiamiento a innovación y capacitación de profesionales; en este caso se puede tomar como ejemplo la Maestría en Energía llevada adelante por la Facultad de Ingeniería y cofinanciada por UTE.
 - Antena tecnológica en la industria; analizando el avance tecnológico en la materia y la viabilidad de incorporar dicho

avance a las tareas de la empresa.

- Cultura de la innovación dentro y fuera de la empresa; programas con el fin de generar un ambiente propicio a la innovación de productos y procesos, ya sean para implementar en la empresa o fuera de la misma, en el sector de energía.

VI.3. Lineamiento estratégico 3: generación de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I)

Promoción de la generación de conocimiento básico y aplicado al sector de energías renovables (por ejemplo, desarrollo de prototipos, capacidades de mantenimiento y reciclaje, tanto públicas como privadas).

Objetivo

Fortalecer las herramientas efectivas existentes para la generación de I+D+I básica y aplicada (mediante inversión pública significativa) en energías. Potenciar sinergias entre investigación y sector productivo, mediante asociación regional e internacional para el desarrollo de la investigación e inversión en I+D+I por parte de la empresa privada.

Proyectos

- a. Sostenimiento y potenciamiento de los fondos existentes, como el fondo sectorial de energía, con fuerte inclusión del sector privado. La ANII ya brinda este tipo de fondos, que impulsan la investigación en el sector privado.
- b. Generación de mecanismos económicos para fomentar la contratación por parte de empresas privadas de profesionales con formación de posgrados y vinculación con institutos del exterior. Ejemplo de mecanismos: Fondos e incentivos fiscales.
- c. Establecimiento de institutos y centros de desarrollo abocados a I+D+I sobre energías renovables, con el fin de fomentar la investigación, a la vez de vincular fuertemente la academia con las empresas del sector.

d. Otorgamiento de incentivos fiscales a aquellas empresas que incorporen conocimiento desarrollado localmente en su proceso de producción, en sustitución de insumos adquiridos en el exterior.

VI.4. Lineamiento estratégico 4: capacidades de producción de bienes y servicios

Potencialidad que posee el Uruguay para llevar a cabo la transformación productiva de bienes y servicios destinados al sector de las energías renovables.

Objetivo

Generar productos y servicios de alto valor agregado que se posicionen como referentes para el mercado regional.

Proyectos

- a. Fortalecimiento del vínculo academia–empresas, con una verdadera transferencia tecnológica. Generación de condiciones para que sea viable el escalado del nivel de prototipo al de producto final.
- b. Implementación de programas de desarrollo de capital humano, específico en determinadas áreas del sector.
- c. Expansión regional de empresas públicas asociadas a empresas locales en proyectos de energías renovables. Estas asociaciones podrían darse de forma inmediata a través de los proveedores de servicios de ingeniería que ya se encuentran trabajando en proyectos con las empresas públicas. Además, las empresas públicas deberían adecuarse, de manera de competir en licitaciones en el exterior.
- d. Generar condiciones favorables para posicionar a Uruguay como polo de pruebas y relanzamiento de tecnologías (antesala regional o puerta de entrada). Se considera que Uruguay está en una posición privilegiada

para el desarrollo de tecnologías en escala de prueba, dado el avance en el sector, el nivel de excedentes que presenta y el desarrollo generado en la previsión climatológica.

- e. Desarrollo y fortalecimiento de políticas, regulaciones e instituciones para intercambio energético regional.

VI.5. Lineamiento estratégico 5: desarrollo social

Se refiere a la mejora de la calidad de vida de la población, lo cual tiene varias condiciones: infraestructura, educación, calidad del aire, etc. En este lineamiento estratégico se promueven las acciones sobre la vivienda energéticamente resiliente por su capacidad de incidencia sobre los otros factores.

Objetivo

Asegurar la producción de viviendas saludables y energéticamente resilientes para el cien por ciento de los hogares vulnerables.²⁸

Proyectos

Creación de un observatorio interinstitucional de la vivienda energéticamente resiliente cuyo objetivo será el de producir información para la toma de decisiones.

VI.6. Lineamiento estratégico 6: marco ambiental

Descripción, adaptación y fiscalización del cumplimiento de normas ambientales en Uruguay.

Objetivo

- a. Obtención de la plena capacidad de cumplimiento de las normas, no solamente en la fiscalización sino también en el autocontrol de las empresas a la hora de implementar procesos y normas ambientales reguladoras del comportamiento futuro de la industria.

28 En este caso, no solamente se refiere a aquellos hogares que pueden ser vulnerables en términos económicos o de bienestar, sino también a los que pueden sufrir consecuencias negativas por eventos climáticos debido a su ubicación, como inundaciones, tormentas de gran magnitud, etcétera.

- b. Énfasis en mejores normas internacionales aplicables a nivel de la industria nacional y capacidades nacionales.

Proyectos

- a. Fortalecimiento las capacidades del país para establecer el marco legal ambiental actualizado según las mejores normas internacionales, en particular: calidad de aire, acústica, emisión de gases de efecto invernadero (GEI), gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), promoción de las mejores tecnologías disponibles.
- b. Fortalecimiento de las capacidades de monitoreo y fiscalización del cumplimiento de la normativa ambiental a través del uso de nuevas prácticas y tecnologías.
- c. Generar mecanismos de internalización de los costos ambientales a las empresas que incurran en prácticas que generen daños ambientales.
- d. Generación de información hacia la población y observatorios de los impactos sobre la salud y el ambiente, cuantificándolos además en términos económicos.

VI.7. Lineamiento estratégico 7: cultura de la sostenibilidad

Cambios en los modos de producción y hábitos de consumo hacia procesos, productos y servicios más sostenibles.

Objetivo

Lograr el efectivo cambio en los modos de producción a nivel empresarial y en los hábitos de consumo de la población de forma que se prioricen los criterios de sostenibilidad en procesos, productos y servicios.

Proyectos

- a. Introducción en los programas educativos de todos los niveles de enseñanza (primaria, secundaria, terciaria) de aspectos vinculados a la cultura de la sostenibilidad, incorporando el pensamiento basado en ciclo de vida y economía circular e integrando insumos e información generados entre otros por el observatorio de la vivienda energéticamente resiliente.
- b. Reforzamiento de los reportes de sostenibilidad de las industrias, comercios y servicios (secretaría ambiental, ministerios y empresas públicas, cámaras, academia).
- c. Creación de mecanismos de promoción de las prácticas sostenibles a través de, entre otros instrumentos y no exclusivamente, los procesos de compras del estado.

Recuadro 4. Algunos proyectos priorizados

El proceso prospectivo ha consistido en la elección de un escenario apuesta que equivale a la imagen del futuro que las instituciones del Uruguay desean construir y que fue denominado Uruguay alta performance. Asimismo, fue necesario precisar los lineamientos estratégicos mediante los cuales era posible y viable la construcción del escenario mencionado. Estos lineamientos estratégicos dieron lugar a un número importante de proyectos, los cuales en su diseño deberán incluir de manera precisa los pasos que es necesario recorrer de manera puntual para que la idea de futuro se vaya gradualmente materializando y concretando.

Para facilitar el planteamiento del camino que desde el presente conduciría al futuro, se acudió nuevamente a los expertos para que indicaran a su criterio y tomando en cuenta su experiencia cuáles serían los proyectos que revestían la mayor importancia para alcanzar el escenario, y por lo tanto deberían ser abordados de manera prioritaria.

De esta manera, los proyectos considerados de muy alta prioridad son:

- i. Impulso a emprendimientos basados en el aprovechamiento intensivo de recursos humanos locales capacitados para el desarrollo de productos y servicios (por ejemplo, TIC), definiendo mecanismos tales como parques tecnológicos energéticos con apoyo y beneficios específicos; promoción de compras de dichos productos y servicios.
- ii. Fortalecimiento del vínculo academia–empresas, con una verdadera transferencia tecnológica.
- iii. Incorporación en programas educativos de todos los niveles de enseñanza (primaria a terciaria) de contenidos vinculados con la cultura de la sostenibilidad, desarrollando el pensamiento basado en ciclo de vida y la economía circular, e integrando insumos generados, por ejemplo, por el observatorio de vivienda energéticamente resiliente.
- iv. Generación de instrumentos para desarrollar prototipos de escala significativa en las tecnologías seleccionadas (*microgrids*, acumulación, fotovoltaica, gestión de demanda, etc.), asociando las empresas públicas, universidad y empresas privadas con un aseguramiento de la disponibilidad del capital necesario.
- v. Posicionamiento del Uruguay como polo de pruebas y relanzamiento de tecnologías (antesala regional o puerta de entrada).
- vi. Fortalecimiento de las capacidades de monitoreo y fiscalización del cumplimiento de la normativa ambiental a través del uso de nuevas prácticas y tecnologías.
- vii. Generación de información hacia la población y observatorios de los impactos sobre la salud y el ambiente, cuantificándolos además en términos económicos.

VII. A modo de conclusión

El análisis de probabilidades del escenario Uruguay alta performance que fue elegido como escenario apuesta del futuro de las energías renovables deja varias lecciones. En primer lugar, se puede observar la importancia que tienen tres fenómenos: el desempeño y el liderazgo de las empresas públicas como generadoras de servicios, la cultura uruguaya de respeto por el medio ambiente y las normativas relacionadas. Con mayor debilidad se presentan la innovación y la investigación, y productos como las viviendas resilientes. Igualmente se puede deducir que no hay un interés marcado con respecto a la producción de bienes conexos como los vehículos eléctricos, que presenta barreras importantes, como las economías de escala y la producción de insumos que exigen estas nuevas formas de generar energía. En materia de servicios, la situación es distinta en la medida en que sea posible apuntar a los servicios de consultoría para el desarrollo de energías renovables, *smart grids*, *smart cities*, soluciones en la nube, etcétera. Por otra parte, es importante advertir que se hará necesario alcanzar el escenario Uruguay alta performance, logrando equilibrio entre estos

cuatro fenómenos: investigación, productos, servicios y cuidado del medio ambiente. Cualquier desequilibrio en estos cuatro aspectos implicará consecuencias negativas, ya desde el punto de vista económico o desde lo ambiental.

Este análisis de probabilidades pone igualmente en evidencia la importancia que tiene en todo momento la presencia del estado como orientador y generador del bienestar ciudadano, por medio de las políticas públicas, y lo negativo que sería soslayar las políticas de estado en favor de decisiones coyunturales. Construir la ecuación investigación–producción–política pública equivale también a concebir el manejo apropiado del fenómeno que se conoce como triple hélice, a saber, la integración de los tres actores fundamentales del desarrollo: el estado, la academia y los medios de producción.

En síntesis, este análisis de probabilidades permite poner en evidencia las fortalezas y debilidades que posee el sector, y aclarar el camino hacia el escenario Uruguay alta performance, por medio de las estrategias y proyectos que se diseñen partiendo de los resultados del presente estudio prospectivo.

Anexo 1. Listado de expertos participantes

Expertos participantes en talleres

Nombre	Institución
Alejandra Reyes	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Alejandro Gutiérrez	Facultad de Ingeniería – UDELAR
Álvaro Suttner	SOWITEC
Atilio Deana	PEDECIBA
Carlos Saizar	Latitud – LATU
Eduardo Bergerie	UTE
Emiliano Sierra	UTE
Gabriel Rodriguez	Comisión Técnica Mixta Salto Grande
Gonzalo Casaravilla	UTE
Ignacio Fígoli	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Julián Malcón	UTE
Larisa Machado	Dirección Nacional de Energía – MIEM
María José González	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Macarena González	Dirección de Planificación – OPP
Martín Garmendia	MCT Ingeniería
Martín Scarone	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Miguel Rabosto	ANCAP
Nicolás Castroman	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Pablo Aguirregaray	Dirección de Planificación – OPP
Pablo Caldeiro	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Paola Díaz	PEDECIBA
Rodrigo Alonso Suárez	Facultad de Ingeniería – UDELAR
Tabaré Pagliano	SOWITEC
Virginia Echinope	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Wilson Sierra	Dirección Nacional de Energía – MIEM

Expertos participantes en grupo de gobernanza ampliada

Nombre	Institución
Enzo Coppes	UTE
Enzo Melani	ERGO
Ignacio Fígoli	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Julián Malcón	UTE
María José González	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Macarena González	Dirección de Planificación – OPP
Martín Scarone	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Nicolás Castroman	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Pablo Aguirregaray	Dirección de Planificación – OPP
Pablo Caldeiro	Dirección Nacional de Energía – MIEM
Wilson Sierra	Dirección Nacional de Energía – MIEM

Anexo 2. Mapa de tendencias tecnológicas en energías renovables

Sistemas de transmisión de alto voltaje	
Tecnologías y aplicaciones HVAC y HVDC	Diagnóstico de la descarga corona y sus efectos ambientales de las líneas aéreas de transmisión, subestación y estación convertidora de UHV: campo eléctrico, inferencia de radio, ruido audible, etc.
Tecnologías y aplicaciones HVAC y HVDC	Tensiones transitorias y protección de líneas y equipos de transmisión aérea UHV: iluminación, conmutación, etc.
Tecnologías y aplicaciones HVAC y HVDC	Sistemas de aislamiento y diagnóstico de equipos UHV: aislador, transformador, SIG, reactor, compensador de serie, transformador convertidor, válvula convertidor, etc.
Tecnologías y aplicaciones HVAC y HVDC	Posibles enfoques técnicos y aplicaciones: transmisión de media longitud de onda, GIL, cable de CC, VSC-HVDC (Voltage-source converters-A high-voltage, direct current), Ultra-alto voltaje, etc.
Relámpagos, sobretensiones y tensiones transitorias	Supresores de tensión para controladores de estado sólido
Relámpagos, sobretensiones y tensiones transitorias	Sensores de prueba de corriente resistiva de pararrayos
Relámpagos, sobretensiones y tensiones transitorias	Dispositivos de detección de corriente de fuga de pararrayos de línea
Materiales y componentes avanzados	Dispositivos de supresión de sobretensiones de baja capacitancia
Materiales y componentes avanzados	Subestructuras para aumentar la resistencia sísmica de un componente de alto voltaje
Materiales y componentes avanzados	Dispositivos eléctricos de media / alta tensión que tienen un aislamiento híbrido de bajo espesor utilizando resinas de poliepóxido o poliuretano
Reducción de la pérdida de energía	Planificación múltiple de almacenamiento de energía en la comunidad en DNO
Reducción de la pérdida de energía	Cables superconductores 380 kV
Reducción de la pérdida de energía	Reconfiguración de red y asignación de generación distribuida en redes de distribución
Sistemas avanzados de protección	Protección de microgrids de CC de baja tensión
Sistemas avanzados de protección	Convertidor Multinivel Modular (MMC) para sistemas HVDC
Sistemas avanzados de protección	Protección contra rayos de OHL mediante cables de tierra externos
Evaluaciones y mejoras	VSA&E en sistemas de distribución con energías renovables
Evaluaciones y mejoras	VSA&E en línea en apoyo de la integración de energías renovables
Evaluaciones y mejoras	Modelos óptimos de mezcla de generación de energía que integran las energías variables renovables (VRE) masivas como PV y eólica

Sistemas de distribución de energía: DNO / DSO

Regulación	Equilibrio entre datos abiertos y seguridad / integridad
Regulación	Regulaciones de seguridad cibernética
Regulación	Incentivos para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia energética
Soluciones TI	Gestión y análisis de datos (big data)
Soluciones TI	Ciberseguridad y protección de datos
Soluciones TI	Acceso a datos, intercambio de datos y centros de datos
Soluciones TI	In/Outsourcing en servicios de TI
Soluciones TI	Servicios digitales y flexibilidad
Necesidades del consumidor	Esquemas comunitarios de energía en gran número de pequeños ODS que gestionan pequeños DER independientes
Necesidades del consumidor	Almacenamiento para proporcionar servicios de red
Necesidades del consumidor	Microgrids conectados a las redes de distribución
Necesidades del consumidor	Control jerárquico de microgrids inteligentes
Evaluaciones y mejora	Eficiencia de consumo final de energía en edificios
Evaluaciones y mejora	Eficiencia energética en usuarios finales como industrial/agrícola/agua

Sistemas de energía eólica

Problemas con la red de distribución	Control de tensión con energía eólica distribuida
Problemas con la red de distribución	Microgrids para aumentar la participación de los sistemas de energía eólica / VRE
Problemas con la red de distribución	Soluciones de almacenamiento y convertidores para almacenamiento
Problemas con la red de transmisión	Clasificación de línea dinámica / Evaluación de seguridad dinámica en línea
Problemas con la red de transmisión	Planificación de la red de transmisión con altas cuotas de viento / VRE
Problemas con la red de transmisión	Conversión de alimentación de AC a líneas de DC
Problemas con la red de transmisión	Automatización del sistema para la integración de VRE eólica
Problemas con la red de transmisión	Conexión de centrales eólicas marinas con tecnología HVDC
Problemas de modelado y equilibrio	Modelado de tecnología HVDC
Problemas de modelado y equilibrio	Métodos de equilibrio de potencia
Ingeniería eléctrica	Fuente de alimentación móvil portátil basada en la combinación de generación de energía eólica y generación de energía solar
Ingeniería eléctrica	Barra de aislamiento tubular con materiales de alta conductividad
Compuestos híbridos para aplicaciones estructurales	Turbina eólica formada por una matriz de polímero y material de fibra
Compuestos híbridos para aplicaciones estructurales	Dispositivo vertical de almacenamiento de energía flywheel compuesto de polímero reforzado con fibra
Compuestos híbridos para aplicaciones estructurales	Materiales (de núcleo) utilizados para moldear piezas para álabes de turbinas eólicas utilizando tecnología de pultrusión de poliuretano
Compuestos híbridos para aplicaciones estructurales	Juntas o huecos de relleno no positivo en cuerpos moldeados en las semicarcasas de paletas de palas de rotor para plantas de energía eólica utilizando soja y poliuretano
Compuestos híbridos para aplicaciones estructurales	Composición de hormigón de alta resistencia a altas temperaturas usando bio-polímeros y eco-materiales
Soluciones TI	Sistemas de predicción y control de la producción de energía eólica
Soluciones TI	Previsión de demanda eólica distribuida/VRE
Soluciones TI	Tecnología TI para la integración de la energía eólica
Ingeniería eléctrica y electrónica	Transformadores de poder
Ingeniería eléctrica y electrónica	Torre de la turbina eólica
Ingeniería eléctrica y electrónica	Quotes (cuotas)
Ingeniería eléctrica y electrónica	Carenado (cubierta aerodinámica diseñada para ofrecer la mínima resistencia al avance del aire)

Sistemas de energía fotovoltaica

Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en confinamiento cuántico
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en sistemas nanoestructurados
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en ingeniería de bandas alineadas
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en conceptos de banda intermedia
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en la generación de excitones múltiples (MEG)
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en la termofotónica
Tecnología de células fotovoltaicas	Mecanismos de conversión fotovoltaica	Proceso basado en efectos hot-carrier
Tecnología de células fotovoltaicas	Administración avanzada de la luz y organización espectral	Revestimiento antirreflectante
Tecnología de células fotovoltaicas	Administración avanzada de la luz y organización espectral	Separación del espectro
Tecnología de células fotovoltaicas	Administración avanzada de la luz y organización espectral	Superficies de trampa de luz texturizada (superficie frontal y / o posterior)
Tecnología de células fotovoltaicas	Administración avanzada de la luz y organización espectral	Luminescencia (fluorescencia) y sistemas de concentradores de nanoescala
Tecnología de células fotovoltaicas	Administración avanzada de la luz y organización espectral	Estructuras fotónicas y plasmónicas
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Pseudomórfico
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Metamórfico
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Los óxidos conductores transparentes (TCO)
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Barreras
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Revestimientos
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Substratos
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Semiconductores
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Grafeno
Tecnología de células fotovoltaicas	Materiales fotovoltaicos	Nanotubos de carbon
Tecnología de células fotovoltaicas	Tándem híbrido / Células solares multifunción	Epitaxia monilítica
Tecnología de células fotovoltaicas	Tándem híbrido / Células solares multifunción	Tecnología de deposición de plasma
Tecnología de células fotovoltaicas	Tándem híbrido / Células solares multifunción	Vinculación en la producción de PV

Células solares de película fina de calcogenuro	Preparación del absorbedor y propiedades del material
Células solares de película fina de calcogenuro	Contactos, ventanas, búferes, sustratos y supertratos, integración monolítica e interfaces
Células solares de película fina de calcogenuro	Caracterización, análisis y modelización de células y módulos
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Material de silicio, materia prima y Wafers
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Dispositivos basados en unión-pn estándar
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Pasivación superficial, recubrimiento óptico y gestión de la luz
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Contactos pasivos, contactos selectivos portadores y estructuras de unión-heterogénea
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Tándem híbrido /Células solares multifunción
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Metalización, formación de contactos e integración de módulos
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Dispositivo físicos, simulación y análisis de pérdida de potencia
Materiales y dispositivos fotovoltaicos de silicio	Expansión de material de película delgada y dispositivos
Estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos	Estructuras de apoyo fijadas directamente al suelo
Estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos	Estructuras de apoyo fijadas directamente a un objeto inamovible
Estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos	Estructuras de soporte móviles o ajustables
Métodos de caracterización	Métodos e instrumentos para la caracterización de materiales de celdas solares
Métodos de caracterización	Técnicas de caracterización óptica y eléctrica para PV
Métodos de caracterización	Caracterización de película fina policristalina o amorfa para PV
Métodos de caracterización	Caracterización de materiales y dispositivos fotovoltaicos monocristalinos
Métodos de caracterización	Monitoreo in situ y control de procesamiento
Métodos de caracterización	Caracterización de las celdas solares perovskitas y materiales
Métodos de caracterización	Pruebas de rendimiento y estándares
Métodos de caracterización	Técnicas de caracterización de módulos y sistemas fotovoltaicos

Energía de la biomasa

Recursos de biomasa	Técnicas de producción y pretratamiento
Recursos de biomasa	Suministro y logística de materias primas procedentes de la agricultura convencional, la silvicultura, la industria de transformación y los cultivos energéticos (maderables o gramináceas)
Recursos de biomasa	Suministro y logística de materias primas procedentes de residuos agroindustriales
Tecnologías de la bioenergía	Tecnología de combustión directa de biomasa
Tecnologías de la bioenergía	Tecnologías de conversión termoquímica
Tecnologías de la bioenergía	Tecnologías de conversión bioquímica
Tecnologías de la bioenergía	Co-combustión de biomasa con combustibles tradicionales
Tecnologías de la bioenergía	Producción de biocombustibles líquidos (biodiesel, bioetanol 2ª y 3ª generación)
Tecnologías de la bioenergía	Producción de biocombustibles para la aviación
Tecnologías de la bioenergía	Tecnologías de uso de residuos para producción de energía
Tecnologías de la bioenergía	Biorrefinerías
Tecnologías de la bioenergía	Producción de hidrógeno

Energía geotérmica

Plantas de energía	Centrales eléctricas binarias que utilizan agua del depósito geotérmico cuando es inferior a 150 ° C
Plantas de energía	Sistema geotérmico de generación de vapor artificial mediante combinación de hidrógeno y oxígeno
Plantas de energía	Plantas de energía de corrientes de calor geotérmica y combustible
Plantas de energía	Planta combinada de energía solar y geotérmica
Plantas de energía	Sistema de generación de energía eléctrica utilizando una central híbrida geotérmica y nuclear

Energía mareomotriz

Tecnología del agua de mar	Producción fotocatalítica de combustibles solares de agua de mar	Catalizadores que comprenden metales, óxidos metálicos o hidróxidos como arsénico, vanadio, molibdeno, tungsteno y otros
Tecnología del agua de mar	Producción fotocatalítica de combustibles solares de agua de mar	Catalizadores que comprenden metales, óxidos metálicos o hidróxidos de metales nobles
Tecnología del agua de mar	Producción fotocatalítica de combustibles solares de agua de mar	Catalizadores que comprenden metales, óxidos metálicos o hidróxidos de los metales del grupo del hierro o del cobre
Tecnología del agua de mar	Electrólisis del agua de mar con celdas solares	Producción de hidrógeno por electrólisis de agua en celdas con electrodos planos o en forma de placa
Tecnología del agua de mar	Electrólisis del agua de mar con celdas solares	Producción de hidrógeno por electrólisis de agua en celdas diafragmáticas
Tecnología del agua de mar	Electrólisis del agua de mar con celdas solares	Producción de hidrógeno por electrólisis de agua en celdas de presión
Tecnología del agua de mar	Electrólisis del vapor de agua de mar bajo la luz del sol	
Tecnología del agua de mar	Producción de energía de agua de mar	Uso de la energía de las olas
Tecnología del agua de mar	Producción de energía de agua de mar	Uso de la energía tidal (o de corrientes de marea)

Energías renovables y sostenibilidad

Edificios inteligente	Automatización de viviendas y edificios	
Edificios inteligente	Sistemas y componentes de iluminación	
Edificios inteligente	Sistemas de medición y sensores	
Edificios inteligente	Construcciones de consumo de energía casi cero	
Edificios inteligente	Administración de la demanda	
Edificios inteligente	Sistemas de supervisión	
Sensores y actuadores de circuitos	Procesamiento e identificación de señales	
Sensores y actuadores de circuitos	Sensores y transmisores para la conservación de energía	
Sensores y actuadores de circuitos	Circuitos inteligentes	
Sensores y actuadores de circuitos	Modelado de sistemas	
Fiabilidad, calidad y seguridad de la energía	Extensión de vida de la infraestructura	
Fiabilidad, calidad y seguridad de la energía	Resistencia de los sistemas de energía	
Fiabilidad, calidad y seguridad de la energía	Estrategias operativas bajo diferentes contingencias	
Almacén de energía	Baterías para la conversión directa de energía química en energía eléctrica	Baterías de combustible regenerativas como baterías de flujo redox o células de combustible secundarias
Almacén de energía	Baterías para la conversión directa de energía química en energía eléctrica	Baterías de combustible bioquímicas como baterías en las que los microorganismos funcionan como catalizadores

Almacén de energía	Baterías para la conversión directa de energía química en energía eléctrica	Baterías de combustible con electrolitos fundidos
Almacén de energía	Baterías para la conversión directa de energía química en energía eléctrica	Baterías de combustible indirectas como baterías de combustible con pareja redox irreversible
Almacén de energía	Baterías para la conversión directa de energía química en energía eléctrica	Baterías de combustible en las que el combustible se basa en materiales que comprenden carbono, oxígeno o hidrógeno y otros elementos
Almacén de energía	Agrupación de baterías de combustible	Procesos o aparatos para agrupar baterías de combustible
Almacén de energía	Agrupación de baterías de combustible	Apilamiento de baterías de combustible con electrolitos sólidos soportados en matriz
Almacén de energía	Agrupación de baterías de combustible	Apilamiento de baterías de combustible con reactivos líquidos, sólidos o electrolitos
Almacén de energía	Agrupación de baterías de combustible	Apilamiento de baterías de combustible con reactantes gaseosos o vaporizados
Almacén de energía	Baterías secundarias	Acumuladores con electrolito no acuoso (Li-acumuladores, con inserción / intercalación de metales, materiales como electrolitos)
Almacén de energía	Baterías secundarias	Acumuladores de ácido sólido con electrodos bipolares
Almacén de energía	Baterías secundarias	Acumuladores semiconductores
Almacén de energía	Baterías secundarias	Acumuladores alcalinos (acumuladores de níquel o de plata)
Almacén de energía	Baterías secundarias	Acusadores (gas tight) herméticos
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Ensayos de aparatos, líneas o componentes eléctricos para cortocircuitos, discontinuidades, fugas o conexión de líneas incorrectas
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Localización de fallos en cables, líneas de transmisión o redes
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Prueba de la tensión dieléctrica o de la ruptura del voltaje
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Pruebas de dispositivos semiconductores individuales como dispositivos fotovoltaicos
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Pruebas de circuitos electrónicos
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Prueba de interruptores de circuito, interruptores o interruptores automáticos
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Pruebas de máquinas dínamo-eléctricas
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Aparatos para la comprobación de estado eléctrico de acumuladores o baterías eléctricas
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Prueba de fuentes de alimentación de dispositivos fotovoltaicos
Almacén de energía	Disposiciones para probar propiedades / para localizar fallas eléctricas	Lámparas de prueba
Almacén de energía	Disposiciones para eliminar / reducir la asimetría en redes polifásicas	Utilización de máquinas dínamo-eléctricas acopladas a los volantes
Almacén de energía	Disposiciones para eliminar / reducir la asimetría en redes polifásicas	Uso de baterías con medios de conversión
Almacén de energía	Circuitos para cargar / despolarizar las baterías	Para cargar baterías de la red de CA por convertidores
Almacén de energía	Circuitos para cargar / despolarizar las baterías	Generadores para cargar baterías de dispositivos dínamo-eléctricos accionados a velocidad variable
Almacén de energía	Circuitos para cargar / despolarizar las baterías	Conjunto de baterías a partir de un motor primario no eléctrico
Almacén de energía	Circuitos para cargar / despolarizar las baterías	Funcionamiento en paralelo en redes que utilizan tanto almacenamiento como otras fuentes de CC
Almacén de energía	Circuitos para cargar / despolarizar las baterías	Disposiciones que utilizan la conmutación de celdas

Vehículos con energía alternativa	Energía alternativa	Vehículos eléctricos híbridos (HEV) - un vehículo que utiliza un ICE (motor de combustión interna) y un motor eléctrico	
Vehículos con energía alternativa	Energía alternativa	Vehículo híbrido enchufable (PHEV) - un vehículo híbrido con una batería recargable	
Vehículos con energía alternativa	Energía alternativa	Vehículos eléctricos de batería (BEV) - un vehículo que usa solamente baterías	
Vehículos con energía alternativa	Energía alternativa	Vehículos eléctricos (EV) - cualquier vehículo que usa energía eléctrica	
Vehículos con energía alternativa	Energía alternativa	Vehículos eléctricos de celdas de combustible (FCEV) - un vehículo eléctrico que utiliza una pila de combustible de hidrógeno	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Litio (litio de iones, aire de litio, cobalto de litio-manganeso, grafito de litio, fosfato de litio, etc.)	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Níquel (níquel cadmio, níquel Hydrige metálico, níquel cobalto aluminio, níquel manganeso cobalto, etc.)	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Non litio / níquel (aire de zinc, cloruro de nitrato zebra-sodio Na-NiCl ₂ , conductor ácido, etc.)	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Hidrógeno	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Super condensadores	
Vehículos con energía alternativa	Baterías	Optomateriales	
Vehículos con energía alternativa	Conexión de carga/ Modos estándar	Modo de carga 2 (Schuko, Cetac) - Bajo nivel de comunicación. El cable tiene un dispositivo de control piloto intermedio	
Vehículos con energía alternativa	Conexión de carga/ Modos estándar	Modo de carga 3 (Scame, Mennekes) - El cable tiene dispositivos de control y protecciones	
Vehículos con energía alternativa	Conexión de carga/ Modos estándar	Modo de carga 4 (CHAdeMO, Mennekes, Combo2) - convertidor de corriente directa y sólo se aplica a la recarga rápida	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Sistema de administración de baterías (BMS)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Unidad de control del motor (ECU) que utiliza tubos de descarga / dispositivos semiconductores o que utilizan dispositivos magnéticos que tienen un grado de saturación controlable (transductores)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Equipo de suministro de vehículos eléctricos (EVSE)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Compatibilidad electromagnética (EMC)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Interferencia electromagnética (EMI)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Red de área del controlador (CAN)	
Vehículos con energía alternativa	Sistemas de control	Estado de carga (SOC)	
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Hecho de cristales (sal de roca, semiconductores)	
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Hecho de materiales orgánicos (plásticos)	
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Hecho de fluidos en celdas transparentes	
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Hecho de materiales polarizantes	
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Recubrimiento óptico producido por una aplicación	Recubrimientos antirreflectantes
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Recubrimiento óptico producido por una aplicación	Mediante tratamiento superficial (por irradiación)
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Recubrimiento óptico producido por una aplicación	Revestimiento protector (recubrimientos duros)

Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Recubrimiento óptico producido por una aplicación	Con un efecto antiestático (conductor eléctrico)
Energía solar concentrada	Elementos ópticos / composiciones de lentes ópticos	Recubrimiento óptico producido por una aplicación	Revestimientos para mantener las superficies ópticas limpias
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores solares con soporte para artículos calentados (estufas, fogones, crisoles, hornos, etc.)	
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Colectores de evacuación solar
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Elementos de concentración
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Fluido que se transporta entre placas
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Fluido que gotea libremente sobre elementos de colector
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Masa permeable, materiales foraminosos / porosos
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Medios para intercambiar calor entre fluidos múltiples
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Sección de evaporador y condensador
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Colectores de calor solar que trabajan con un fluido transportado a través del colector	Masa de almacenamiento de calor
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Unidades colectoras enrollables o plegables	
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Emplear medios de seguimiento - estructuras de soporte de módulos fotovoltaicos	
Energía solar concentrada	Colectores de calor solar	Disposiciones de control	
Energía solar concentrada	Dispositivos de producción de energía mecánica	Dispositivos para la producción de energía mecánica desde energía geotérmica (con contacto directo de fluido, con turborreactores de pozo profundo, con líquido en fogonazos)	
Energía solar concentrada	Dispositivos de producción de energía mecánica	Dispositivos para producir energía mecánica a partir de energía solar (utilizando un fluido de trabajo de un solo estado, con medios de concentración de energía solar)	
Energía solar concentrada	Transferencia de calor	Materiales que experimentan un cambio de estado físico (de líquido a vapor, de líquido a sólido, etc.)	
Energía solar concentrada	Transferencia de calor	Materiales que no experimentan un cambio de estado físico (materiales líquidos / sólidos, reacciones químicas no reversibles)	
Energía solar concentrada	Control de posición o dirección	Sin utilizar retroalimentación	
Energía solar concentrada	Control de posición o dirección	Usando retroalimentación	
Energía solar concentrada	Conjuntos constituidos por módulos fotovoltaicos / Matrices de células fotovoltaicas que forman circuitos híbridos		
Energía solar concentrada	Tratamiento de superficies de vidrio	Con vidrio	
Energía solar concentrada	Tratamiento de superficies de vidrio	Con metales	
Energía solar concentrada	Tratamiento de superficies de vidrio	Con materiales orgánicos	
Energía solar concentrada	Tratamiento de superficies de vidrio	Con al menos dos recubrimientos que tienen composiciones diferentes	
Energía solar concentrada	Tratamiento de superficies de vidrio	Abrillantado	



Dirección de Planificación
Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Torre Ejecutiva - Pza. Independencia 710 - Piso 6
Tel. (+598 2) 150 3560 - planificacion@opp.gub.uy
Montevideo - Uruguay

opp.gub.uy - marzo 2019