

Evaluación y Planificación del Sector Energético del Paraguay: Vías de Descarbonización

Apéndices



 COLUMBIA CLIMATE SCHOOL
THE EARTH INSTITUTE



Columbia Center
on Sustainable Investment
A JOINT CENTER OF COLUMBIA LAW SCHOOL
AND THE EARTH INSTITUTE, COLUMBIA UNIVERSITY



COLUMBIA | ENGINEERING
The Fu Foundation School of Engineering and Applied Science



SUSTAINABLE DEVELOPMENT
SOLUTIONS NETWORK
A GLOBAL INITIATIVE FOR THE UNITED NATIONS



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA



TETĀ VIRU
MOHENDAPY
Motenondeha

Ministerio de
HACIENDA

Noviembre de 2021

Apéndice A: Energía útil en Paraguay por sectores en 2018

Este apéndice describe en profundidad todo el conjunto de supuestos en los que se basa la línea de base de 2018 para la energía útil en Paraguay calculada por los autores, que sirve de base para los Escenarios 1, 2 y 3 presentados en la Sección 1.3 del informe.

Si bien la demanda de electricidad ha aumentado constantemente desde la década de 1990, el consumo de electricidad varía según el sector y la ubicación en zonas urbanas o rurales. En esta sección, cada subsector de Paraguay se desglosa por fuente de energía y aplicación para proporcionar una imagen completa del consumo de electricidad en todo el país. Los valores proporcionados en las siguientes tablas son los valores de energía útil de cada subsector y tipo de combustible. Estos valores energéticos son las cantidades finales de energía utilizadas por cada sector, reducidas por el porcentaje de eficiencia energética de cada subsector. Algunos combustibles son más densos energéticamente que otros, y estas diferencias se tienen en cuenta en los valores siguientes.

Sector residencial

El sector residencial se divide en residencias urbanas y rurales. Las residencias urbanas tienen un mayor acceso a la electricidad y a tecnologías más avanzadas en electrodomésticos que las rurales. Por consiguiente, en el sector urbano-residencial, una gran cantidad de energía procede de la electricidad. En conjunto, el 69,2% de la energía utilizada en este sector procede de la electricidad (Tabla1).

Cuadro 1 : Uso de la energía en el sector urbano-residencial por aplicación

Sector	Urbano							
Energía Útil (toe)	366.552							
Aplicación	GLP	Kerosén	Leña	Carbón	Gasolina	Residuos de Biomasa	Electricidad	Total
Iluminación	0	4	0	0	0	0	4.705	4.708
Cocina	68.813	10	18.323	16.917	0	841	16.468	121.372
Calentamiento de Agua	1.910	0	2.313	2.273	0	143	61.679	68.318
Calefacción	5	0	326	37	0	5	1.116	1.490
Conservación de Alimentos	0	0	0	0	0	0	63.228	63.228
Refrigeración y Ventilación	0	0	0	0	0	0	57.004	57.004
Bombeo de Agua	0	0	0	0	7	0	498	505
Otros	0	0	0	5	23	0	49.899	49.927
TOTAL	70.728	14	20.961	19.232	30	989	254.597	366.552

Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Por el contrario, el sector rural-residencial (Tabla2) depende mucho más de la leña y el carbón vegetal para cocinar. Además, la magnitud del consumo de electricidad es mucho menor en casi todas las aplicaciones identificadas. Sin embargo, el uso de la electricidad sigue representando el 51,5% de todo el uso de energía.

Tabla 2 : Uso de la energía en el sector rural-residencial por aplicación

Sector Energía Útil (toe)	Rural 366.552							
Aplicación	GLP	Kerosén	Leña	Carbón	Gasolina	Residuos de Biomasa	Electricidad	Total
Iluminación	0	6	0	0	0	0	1.995	2.001
Cocina	24.418	0	58.224	6.150	0	370	5.459	94.621
Calentamiento de Agua	88	0	6.740	363	0	31	19.631	26.854
Calefacción	0	0	658	35	0	0	214	907
Conservación de Alimentos	0	0	0	0	0	0	35.861	35.861
Refrigeración y Ventilación	0	0	0	0	0	0	17.314	17.314
Bombeo de Agua	0	0	0	0	0	0	1.166	1.166
Otros	0	0	0	3	242	0	20.377	20.622
TOTAL	24.506	6	65.622	6.551	242	402	102.017	199.346

Fuente: Elaboración propia a partir del BEN 2018 y del BNEU 2011

Sectores comercial, de servicios y público

Los sectores comercial, de servicios y público dependen principalmente de la electricidad para el uso de la energía, y la mayor cantidad de energía se utiliza para la refrigeración y la ventilación. La Tabla3 identifica el desglose del uso de energía por aplicación estimando el uso de energía por subsector. El uso de la electricidad representa el 97,3% de todo el uso de energía en este sector.

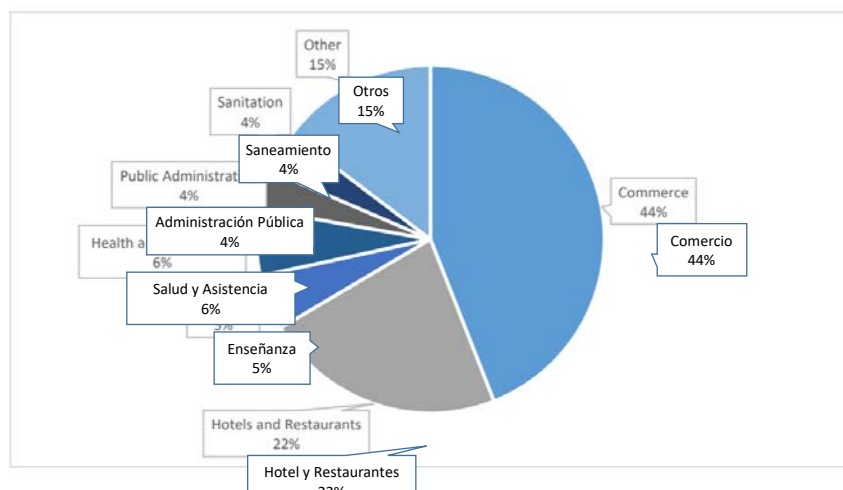
Cuadro 3: Uso de la energía en los sectores comercial, de servicios y público, por aplicación

Sector Energía Útil (toe)	Servicios 366.552						
Aplicación	GLP	Combustible de Motor	Diesel Oil	Leña	Carbón	Electricidad	Total
Iluminación	0	0	0	0	0	9.645	9.645
Cocina	6.142	0	0	414	275	6.984	13.815
Calentamiento de Agua	545	0	0	321	0	15.655	16.521
Calefacción	0	0	0	3	0	22.151	22.154
Conservación de Alimentos	0	0	0	0	0	55.147	55.147
Refrigeración y Ventilación	0	0	0	0	0	86.980	86.980
Bombeo de Agua	0	0	0	0	0	14.087	14.087
Fuerza Motriz	0	0	0	0	0	5.980	5.980
Otros	41	15	1	108	0	37.556	37.721
Transporte Interno	47	6	100	0	0	20	173
TOTAL	6.775	21	101	846	275	254.205	262.223

Fuente: Elaboración propia a partir del BEN 2018 y del BNEU 2011

La mayor parte de la demanda total de energía de este sector la consumen el comercio, los hoteles y los restaurantes, como muestra la figura1 .

Figura 1 : Uso de la energía en los sectores comercial, público y de servicios por subsectores



Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Sector manufacturero

La industria manufacturera en Paraguay sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles y la biomasa para generar vapor y calor directo. El cuadro4 destaca estos usos y los mayores índices de consumo. El uso de la electricidad sólo representa el 14,0% del uso de energía.

Cuadro 4 : Uso de la energía en el sector industrial por aplicación

Sector Manufactura		Energía Útil (toe)									Total
Aplicación	GLP	Combustible de Motor	Diesel Oil	Fuel Oil	Carbón Mineral	Coque de Petróleo	Leña	Carbón	Residuos de Biomasa	Electricidad	
Iluminación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.721	1.721
Vapor	111	0	794	18	0	0	217.828	0	92.440	668	311.859
Calor Directo	611	0	96	3.052	2.780	33.460	233.654	7.382	10.841	9.188	301.065
Fuerza Motriz	0	19	614	0	0	0	0	0	178.328	108.905	287.866
Proceso en Frío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.967	10.967
Transporte Interno	21	235	1.062	0	0	0	0	0	0	288	1.605
Procesos Electroquímicos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16
Usos No Productivos	16	0	0	0	0	0	0	0	0	7.218	7.234
TOTAL	759	254	2.344	3.070	2.780	33.460	451.482	7.382	281.609	138.634	922.333

Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Sector del transporte

El cuadro5 destaca que los coches son el modo de transporte que más energía consume en general, siendo el diésel el tipo de combustible más consumido.

Tabla 5 : Uso de la energía en el sector del transporte por aplicación

Sector Energía Útil (toe)		Transporte 488.653						
TIPO	MODOS	Gasolina	Alcohol	Diesel	GLP	Aeronauta	Comb. de Aviones	Total
Terrestre	Automóviles	90.694	19.451	43.563	1.042	0	0	153.493
	Camiones 4x4 (no comerciales)	12.511	3.376	59.150	428	0	0	74.284
	Autobus	0	0	36.413	0	0	0	36.413
	Minibus	1.710	313	9.181	0	0	0	11.019
	Motocicleta	19.590	3.585	0	0	0	0	23.176
	Camiones 4x4 (Uso comercial)	15.422	2.823	51.639	0	0	0	68.979
	Camiones	0	0	64.955	0	0	0	64.955
	Tractocamiones	0	0	38.455	0	0	0	38.455
	SUBTOTAL TERRESTRE	139.926	29.548	303.355	1.470	0	0	474.385
Fluvial	Barcos	0	0	1.783	0	0	0	1.783
Aéreo	Aviones	0	0	0	0	999	0	999
	Jet	0	0	0	0	0	11.486	11.486
	TOTAL	139.926	29.548	305.138	1.470	999	0	488.653

Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Sector agrícola

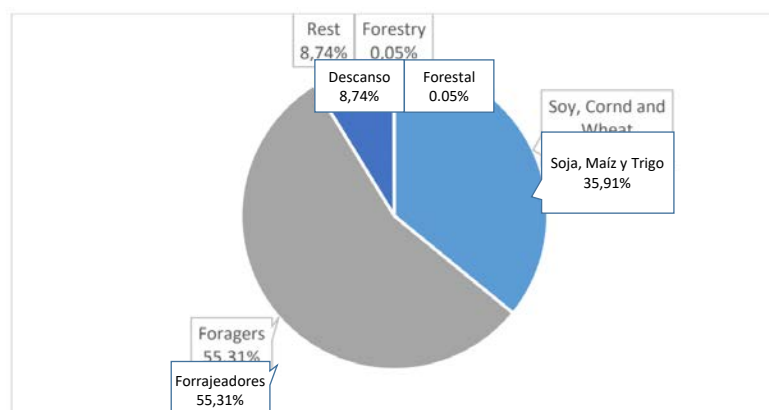
En el sector agrícola y forestal, los mayores consumos de energía tienen que ver con el consumo de diésel utilizado para el transporte y de leña para la calefacción. La tabla6 consolida el uso de energía en estos sectores, mientras que la figura 2 divide el uso de energía por subsectores. La electricidad representa el 30,5% de toda la energía utilizada.

Cuadro 6 : Uso de la energía en los sectores agrícola y forestal por aplicación

Sector Energía Útil (toe)		Agro 156.479				
Aplicación	GLP	Combustible de Motor	Diesel Oil	Leña	Electricidad	Total
Iluminación	0	0	0	0	616	616
Tractores y Maquinarias Móviles	0	0	75.073	0	0	75.073
Maquinarias Fijas	0	1.324	142	0	28.917	30.384
Irrigación y Bombeo de Agua	0	574	337	0	13.534	14.445
Calefacción	0	0	0	34.139	129	34.268
Enfriamiento	31	0	0	0	1.661	1.693
TOTAL	31	1.898	75.553	34.139	44.858	156.479

Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Figura 2 : Uso de la energía en los sectores agrícola y forestal por subsector



Fuente: Elaboración propia a partir de BEN 2018 y BNEU 2011.

Sectores de la minería y la construcción

Por último, el uso de energía en los sectores de la minería y la construcción incluye tanto los combustibles fósiles para el transporte como la electricidad para determinadas operaciones. El cuadro7 consolida el uso de energía del sector minero en su conjunto, mientras que el cuadro8 divide el uso de energía por aplicaciones para el sector de la construcción. La principal conclusión de estos sectores es la gran dependencia de los combustibles fósiles para el transporte. La electricidad sólo representa el 49,5% del uso de energía en el sector minero y el 9,9% del uso en el sector de la construcción.

Cuadro 7 : Uso de la energía en el sector minero por aplicación

Sector	Minería			
Energía Útil (toe)	2.888			
Aplicación	Combustible de Motor	Diesel Oil	Electricidad	Total
Molinos, Trituradoras y Cintas Transportadoras	0	0	1.531	1.531
Retroexcavadoras y Camiones de Carga	0	1.357	0	1.357
TOTAL	0	1.357	1.531	2.888

Fuente: Elaborado por el CRECE a partir del BEN 2018 y el BNEU 2011.

Cuadro 8 : Uso de la energía en el sector de la construcción por aplicación

Sector	Construcción			
Energía Útil (toe)	4.248			
Aplicación	Combustible de Motor	Diesel Oil	Electricidad	Total
Iluminación	0	0	36	21
Calefacción	0	0	37	22
Fuerza Motriz Fija	21	325	603	731
Fuerza Motriz Móvil	12	3.189	24	3.567
TOTAL	34	3.514	700	4.248

Fuente: Elaborado por el CRECE a partir del BEN 2018 y el BNEU 2011.

Apéndice B: Escenarios LEAP 1, 2 y 3

Este apéndice describe en profundidad todo el conjunto de supuestos en los que se basa el modelo LEAP y los escenarios 1, 2 y 3 presentados en la sección 1.3 del informe.

1. Supuestos generales y resultados

Crecimiento económico y población

El crecimiento de la población y el PIB son los dos supuestos críticos que guían la estructura de los tres escenarios. Para cada uno de ellos se tiene en cuenta la variabilidad temporal, incluyendo la tendencia histórica, así como la depreciación actual del PIB debida al COVID-19.

Se supone que la tasa anual acumulativa de crecimiento del PIB en Paraguay entre 2018 y 2050 es del 5,39%, incluyendo una tasa de crecimiento del PIB estimada del 3,8% en 2021 y 2022. Después de este período, la recuperación económica y el crecimiento sostenido promueven una tasa de crecimiento del PIB entre el 5,0% y el 6,0% entre 2023 y 2050, continuando la tendencia al alza de la década 2009-2019. Esta tasa de crecimiento más significativa se atribuye a una serie de ventajas competitivas en el sector de la agroindustria, una mayor diversificación de productos y un aumento de las exportaciones netas en Paraguay, así como un fuerte programa de inversiones en línea con el Plan Nacional de Desarrollo 2030 de Paraguay y en la Política Energética Nacional 2040, (por ejemplo, las inversiones en la mejora de la infraestructura energética y de transporte, así como los sistemas de educación e investigación). En los años posteriores, un mayor dinamismo en la fabricación de productos químicos y maquinarias refuerza las tasas de crecimiento del PIB. El cuadro9 resume las hipótesis de crecimiento del PIB por año o período.

Cuadro 9 : Proyecciones de la tasa de crecimiento del PIB (%), 2018-2050

Año/período	Tasa de crecimiento del PIB
2018	3.4
2019	-0.4
2020	-1.5
2021	4.0
2022	3.8
2023–2025	5.0
2026–2030	6.2
2031–2035	5.8
2036–2040	5.6
2041–2045	5.2
2046–2050	5.0

Fuente: Elaboración propia a partir del Viceministerio de Minas y Energía, Estudio de prospectiva energética 2015-2050 (escenario alternativo).

Se supone que la población crecerá de forma constante basándose en los datos del censo anterior a 2018. En total, se espera que la población pase de 6,96 millones en 2018 a casi 10 millones en 2050. Del mismo modo, se espera que el número promedio de personas por hogar disminuya de 4 en 2018 a 3,3 en 2050, lo que también apoyará el crecimiento económico. Del mismo modo, la urbanización

pasa del 62,5% de los hogares en entornos urbanos en 2018 al 75% en 2050. El aumento de la productividad en la agricultura y la mayor industrialización del país impulsarán la urbanización.

En 2018, el 96,6% de los hogares en Paraguay tenía un teléfono móvil, el 90% tenía televisores y refrigeradores, y entre el 42% y el 47% tenía unidades de aire acondicionado y hornos eléctricos. Para todos estos electrodomésticos, se espera que la cantidad y el acceso aumenten hacia el año 2050, y se espera que las unidades de aire acondicionado crezcan al ritmo más rápido. La mejora de los niveles económicos y el aumento del nivel de vida son factores que contribuyen a estos supuestos aumentos.

Supuestos de la biomasa

En 2018, casi el 75% de la biomasa extraída para energía en Paraguay provenía de fuentes no sostenibles como los bosques nativos (véase el capítulo 5). Como resultado de esto, la biomasa sólida en el modelo LEAP es insostenible durante los períodos de tiempo de 2018, 2023 y 2030. Después de 2030, se supone que la biomasa sólida en los tres escenarios se deriva de forma sostenible, en cumplimiento de los objetivos establecidos por el Decreto N° 4056/2015 y la Resolución N° 933/2020.

Para verificar si Paraguay cuenta con suficiente capacidad de biomasa sostenible, se calculó para cada escenario propuesto, el número de hectáreas necesarias a cultivar para la producción de leña de uso directo en la Tabla 9, y para la producción de carbón vegetal en la Tabla 10, todos los datos para satisfacer la demanda para el año 2050.¹ A partir de estos resultados preliminares, la superficie necesaria para los Escenarios 2 y 3 es inferior a la proyectada actualmente por el Proyecto PROEZA para el año 2030², además de las 193.852 hectáreas de cultivos forestales actualmente existentes en el país, pero podría implicar la conversión del uso de la tierra de uso no energético a uso energético. Esta conversión se reducirá en el Escenario 3 en comparación con el Escenario 2 dada la mayor sustitución de biomasa por electricidad. El mayor rendimiento de la reforestación hacia 2050 (que no se tiene en cuenta en las tablas anteriores) también amortiguará esta conversión.

¹ Conociendo las necesidades energéticas de la biomasa sólida, calculamos las toneladas necesarias y, a continuación, las hectáreas a explotar para abastecer estas necesidades suponiendo una productividad y unos rendimientos constantes de la repoblación forestal con fines energéticos a partir de 2018.

VMME-DGEA, "Producción y consumo de biomasa forestal con fines energéticos en el Paraguay", ed, 2019.

² "El Instituto Forestal Nacional (INFONA) coordina el Plan Nacional de Reforestación y, como parte de dicho marco, ha fijado como objetivo general 450.000 hectáreas de plantaciones forestales, de las cuales 290.000 se destinarán a la producción de madera maciza y 160.000 para fines energéticos. Estos objetivos deben alcanzarse para 2030".

FAO, *PROEZA: Pobreza, reforestación, energía y cambio climático* (Gobierno Nacional de Paraguay, 2017),

<https://www.stp.gov.py/v1/wp-content/uploads/2017/01/PROEZA-ESMF-TRAD-Espa%C3%B1ol-22-setiembre-2017.pdf>.

Cuadro 10: Necesidades de leña para usos energéticos, en términos energéticos (tep), en toneladas y hectáreas a cultivar

Escenario	Necesidades de energía de la leña en el dedo del pie, año 2050	toneladas de leña necesarias, año 2050	Hectáreas a cultivar, año 2050
Escenario 1	4,676,259	12,989,608	845,678
Escenario 2	2,959,728	8,221,465	535,252
Escenario 3	2,533,256	7,036,822	458,126

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 11 . Necesidades de carbón vegetal para uso energético, en términos de energía (tep). Leña en toneladas y hectáreas a cultivar para la producción de carbón vegetal

Escenario	Necesidades de energía del carbón vegetal en el dedo del pie, año 2050	toneladas de leña necesarias, año 2050	Hectáreas a cultivar, año 2050
Escenario 1	261,115	378,428	50,076
Escenario 2	127,224	184,382	24,398
Escenario 3	309,080	447,942	59,274

Fuente: Elaborado por los autores.

Biocombustibles

También hemos calculado, para cada escenario propuesto, el número necesario de hectáreas que deben cultivarse para la producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel a base de soja) todos los datos para satisfacer la demanda del año 2050.³

³ Conociendo los requerimientos energéticos para bioetanol y biodiesel y las productividades y rendimientos de producción de etanol y diésel en base a soja por hectárea de cultivo, se calculan las hectáreas cultivadas de cada cultivo que se destinarán a la producción de bioetanol y biodiesel asumiendo una productividad y rendimientos constantes a partir de 2018 (fuente: Datos oficiales de la Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Para los coeficientes de conversión energética, los datos provienen del Balance Energético Nacional 2018)

Bioetanol

Se asumió que el 80% del bioetanol se producirá con maíz y el 20% restante con caña de azúcar, representado aproximadamente por la división actual (ver Capítulo 5). Teniendo en cuenta que en 2018/2019 el área cultivada con maíz fue de 1.085.005 hectáreas, y para la caña de azúcar un área de 103.000 hectáreas se puede suponer que para el año 2050, las necesidades de materia prima para la producción de bioetanol pueden ser totalmente abastecidas para cualquiera de los escenarios propuestos, en particular si se consideran las mejoras en los rendimientos que reducirán el número de hectáreas necesarias. Sin embargo, esto podría implicar la conversión del uso de la tierra del uso alimentario al uso energético, lo que debería ser analizado cuidadosamente.

Cuadro 12 . Necesidades energéticas del bioetanol en términos de energía (MJ)

Escenario	Bioetanol Necesidades energéticas en MJ, año 2050	Ha de maíz (80%) a cultivar, año 2050	Hectáreas de caña de azúcar (20%) a cultivar, año 2050
Escenario 1	24,252,165,765	496,791	73,955
Escenario 2	60,236,196,159	1,233,903	183,686
Escenario 3	33,935,959,947	695,158	103,485

Fuente: Elaborado por los autores.

Biodiesel

Si bien varios cultivos oleaginosos producidos actualmente en Paraguay pueden ser utilizados para la producción de biodiesel, para este cálculo se considera (como ejercicio de primera aproximación) que todo el biodiesel será producido a partir de aceite de soja. En base a los resultados de requerimientos de hectáreas destinadas al cultivo de soja para biodiesel y las 3.631.000 ha cultivadas en 2019/2020, sería necesario ampliar la superficie cultivada⁴. Existen varias iniciativas privadas que pretenden ampliar el cultivo de soja en la región occidental del Paraguay, en aproximadamente 2.000.000 ha.⁵ La realización de esta iniciativa podría incluso abastecer la demanda del Escenario 2, que es el de mayor requerimiento energético para la producción de biodiesel. Sin embargo, esta expansión podría implicar una mayor deforestación, y no es razonable suponer que toda la soja se utilice para producir biodiesel. Existe un potencial para utilizar los residuos de la grasa animal del ganado (alrededor del 8% del peso de cada animal) como materia prima para la producción de biodiesel, además de otros cultivos oleaginosos, como se destaca en los estudios preliminares que deben ser actualizados y

⁴ Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), *Síntesis Estadísticas: Año Agrícola 2019/2020* (Asunción: MAG, septiembre 2020), <http://www.mag.gov.py/Censo/SINTESIS%20ESTADISTICAS%202019-2020.pdf>.

⁵ Víctor Hugo Florentín, "resaltan potencial para el desarrollo de cultivos agrícolas en el Chaco" (ABC, 2021), <https://www.abc.com.py/nacionales/2021/01/31/resaltan-potencial-para-el-desarrollo-de-cultivos-agricolas-en-el-chaco/>; La Nación, "Existe buena expectativa para cultivo de soja en el Chaco" (La Nación, 2020), <https://www.lanacion.com.py/negocios/2020/11/08/existe-buena-expectativa-para-cultivo-de-soja-en-el-chaco/>.

profundizados.⁶ El potencial de cultivo de la jatrofa, como se destaca en la Ley 4729/2012, también debe ser investigado de cerca y más allá de lo que se hizo en un estudio preliminar de hace una década. La jatrofa⁷ puede crecer en tierras degradadas para minimizar las necesidades de conversión de tierras.

Tabla 13 . Necesidades de biodiésel para su uso energético, en términos de energía (MJ). Hectáreas de soja a cultivar para la producción de biodiésel

Escenario	Necesidades energéticas de biodiésel en MJ, año 2050	Hectáreas de soja a cultivar, año 2050
Escenario 1	0	0
Escenario 2	66,887,328,186	5,903,803
Escenario 3	37,741,390,912	3,331,240

Fuente: Elaborado por los autores.

Las tres secciones siguientes destacarán los supuestos claves exclusivos de cada escenario político y ofrecerán una visión del potencial de calentamiento global de las emisiones de GEI previsto entre 2018 y 2050 en función de los cambios asociados a cada escenario.

2. *Detalles en profundidad sobre los escenarios*

Escenario habitual

El escenario BAU asume que las tendencias históricas y el comportamiento relacionado con el uso y la demanda de energía, la intensidad y los rendimientos continúan sin alteraciones. En otras palabras, este escenario permite conocer las consecuencias de la inacción política y medioambiental. El cuadro14 presenta los resultados del modelo LEAP para la demanda neta de energía de este escenario en cantidades absolutas.

⁶ Guillermo Suouto, Paraguay explora su potencial en biocombustibles (Comunica, 2008), <http://repiica.iica.int/docs/B0719e/B0719e.PDF>.

⁷ Héctor J Causarano M (ed.), *Avances de investigación sobre Jatropha curcas en Paraguay* (San Lorenzo: FCA-UNA, 2011), <http://www.agr.una.py/fca/index.php/libros/catalog/book/289>.

Tabla 14 : Demanda de energía neta final por tipo de combustible para el escenario BAU en kTOE

Fuente	2018	2023	2030	2040	2050
Electricidad	1,111	1,269	1,747	2,803	4,262
Productos petrolíferos	2,732	3,701	4,814	6,073	7,211
Biomasa sólida	541	947	2,234	5,314	8,622
Biomasa sólida no sostenible	1,622	1,421	957	0	0
Biocombustibles líquidos	165	288	403	508	579
Solar	0	0	1	3	9
Hidrógeno	0	0	0	0	0
Total	6,171	7,627	10,156	14,701	20,683

Fuente: Elaborado por los autores.

Si bien todas las fuentes de combustible aumentan a medida que Paraguay se acerca a 2050, los productos derivados del petróleo y la biomasa sólida siguen aumentando a un ritmo significativo. Debido a la suposición de que toda la biomasa sólida después de 2030 se obtiene de forma sostenible, la verdadera preocupación en este escenario es el aumento relativamente constante del uso de productos petrolíferos, principalmente en los sectores industrial y de transporte. Como los vehículos eléctricos no se contemplan en este escenario, todos los vehículos siguen utilizando las fuentes de combustible fósil tradicionales (también lo revela la Tabla 14). Como puede verse, el hidrógeno como combustible nunca se adopta y la energía solar en la calefacción se recoge en un mínimo. Además, el desarrollo de los biocombustibles líquidos tiene un crecimiento moderado, pero no es nada significativo en comparación con los otros escenarios.

La demanda de electricidad por sectores sigue una tendencia similar. Como se aprecia en el cuadro 15, la electricidad sigue aumentando en todos los sectores (aparte del transporte).

Tabla 15 : Demanda neta final de electricidad por sector para el escenario 1 en GWh

Sector	2018	2023	2030	2040	2050
Residencial	5,006	6,007	8,189	12,357	17,322
Servicios comerciales y administración pública	4,245	4,608	6,604	11,340	18,145
Agricultura y silvicultura	752	763	917	1,093	1,283
Transporte	0	0	0	0	0
Industria	2,403	2,853	4,061	7,225	12,149
Minería y construcción	34	39	66	101	189
Total	12,441	14,270	19,837	32,117	49,087

Fuente: Elaborado por los autores.

Cabe destacar la demanda de electricidad significativamente alta en los sectores de servicios residenciales y comerciales, un subproducto de los requisitos de eficiencia energética ineficaces e inexistentes. Como resultado, estos valores en el escenario BAU son más altos en comparación con los otros dos escenarios. Otra nota es que la demanda de electricidad de la industria es mucho menor en este escenario que en los otros dos, catalizada por la limitada adopción de electricidad como fuente de combustible en el sector.

Escenario 2

En el sector residencial, la electricidad sustituye al gas licuado de petróleo, la leña y el carbón vegetal debido a un costo más bajo y a las mejoras generales de eficiencia. El calentamiento del agua experimenta una reducción similar en el uso de gas licuado de petróleo (GLP), carbón vegetal y leña, dependiendo del nivel de ingresos de cada hogar. En general, la energía solar se introduce como fuente alternativa de calentamiento del agua en este escenario, mientras que se supone que la electricidad aumenta como fuente de energía para el calentamiento del agua. En cuanto al uso de calor en general, se supone un aumento moderado del uso de la electricidad para compensar el uso de la biomasa sólida y el GLP.

En el sector comercial, los electrodomésticos para cocinar cambiaron más agresivamente de combustible de biomasa a combustible eléctrico. En el caso de la cocina, es importante tener en cuenta que la cultura tradicional paraguaya hace que sea un tabú cultural cocinar con combustibles distintos a la leña y el carbón vegetal. En consecuencia, se suponen cambios pequeños, aunque hay muchos sitios comerciales, como hoteles y restaurantes, donde la biomasa sigue siendo la principal fuente de combustible. Al igual que en el sector residencial, el calentamiento del agua pasa del GLP y la leña a la electricidad y la introducción de la energía solar. Por último, el transporte interno, es decir, el transporte de mercancías y otras actividades relacionadas, representó sólo el 0,18% del consumo energético del sector comercial en 2018, un porcentaje que se mantiene sin cambios en este escenario.

En el sector industrial se produce un cambio radical en el uso de la leña, que supuso el 41,9% de todo el uso de combustible en el sector en 2018. Como en todos los escenarios, se produce un cambio en el consumo de biomasa, que pasa de ser insostenible a derivarse de forma sostenible después de 2030. Además, en la producción de vapor se pasa de la leña a más electricidad y energía solar. En cuanto a la generación de calor en general, el carbón vegetal y el carbón de coque en los procesos metalúrgicos siguen siendo los mismos en este escenario, mientras que el uso de la electricidad sustituye lentamente a todos los demás procesos y subsectores industriales. De nuevo, el transporte interno se mantiene como en 2018 en este escenario.

En el sector del transporte, se asumen tres cambios significativos para este escenario. La primera variación es que el transporte aéreo, que representaba el 3% de la energía del sector del transporte, introducirá el bio-SPK (queroseno parafínico sintetizado), también conocido como combustible de aviación sostenible o bio jet. Dado el desarrollo del proyecto Omega Green en Paraguay (véase el capítulo 5), existen oportunidades legítimas para incorporar el biochorro en el sector del transporte aéreo. Por ello, este escenario asume que el biochorro representará el 2% de este subsector en 2030 y el 30% en 2050 (el futuro del biochorro es muy incierto tecnológicamente). La segunda variación consiste en que el transporte fluvial pasa de los combustibles fósiles a la energía eléctrica y a las pilas de combustible de hidrógeno. Por último, el transporte terrestre, el mayor de los sectores del transporte, ve la introducción de vehículos eléctricos en este escenario, concretamente automóviles,

camiones 4x4, motocicletas y autobuses (enumerados en orden creciente de penetración). Además, se introducen los vehículos de pila de combustible de hidrógeno (para autobuses y, en particular, para el transporte de carga) y los motores que utilizan mezclas de etanol y gasolina (motores Otto y fuel flex) seguirán haciéndolo, aunque estas mezclas pasen al 100% de etanol en 2050. Así pues, el sector sigue dependiendo, en parte, de los combustibles fósiles.

En este escenario también se asumieron ajustes en las intensidades de energía⁸ útil. La eficiencia energética en el consumo final se consigue considerando tanto la promoción de hábitos de eficiencia energética como la adopción de nuevas tecnologías de ahorro de energía. Ambas técnicas se asumen como parte del segundo escenario ya que estos métodos se persiguen activamente en los marcos políticos nacionales existentes. Como era de esperar al considerar los supuestos de este escenario, los productos petrolíferos disminuyen considerablemente a lo largo del tiempo, en contraposición a su fuerte aumento en el escenario BAU. Curiosamente, la energía global de este escenario ha disminuido y es casi 5.000 ktep inferior a la del escenario BAU en 2050. Esto se atribuye a la mayor intensidad energética útil asumida en este escenario, lo que significa una mayor eficiencia energética de los hábitos de uso de la energía de la población y la adopción de nuevas tecnologías.

La tabla 16 presenta los resultados del modelo LEAP para la demanda energética neta de este escenario en cantidades absolutas, teniendo en cuenta los resultados de todos los supuestos mencionados.

Tabla 16: Demanda de energía neta final por tipo de combustible para el segundo escenario en ktep

Fuente	2018	2023	2030	2040	2050
Electricidad	1,111	1,261	1,892	3,227	5,112
Productos petrolíferos	2,732	3,240	2,522	1,481	611
Biomasa sólida	541	914	1,995	4,378	6,654
Biomasa sólida no sostenible	1,622	1,371	855	0	0
Biocombustibles líquidos	165	647	1,877	2,861	3,132
Solar	0	1	15	81	229
Hidrógeno	0	0	14	86	171
Total	6,171	7,436	9,171	12,113	15,910

Fuente: Elaborado por los autores.

⁸ La energía neta se refiere a la energía total consumida por los aparatos, artefactos o máquinas - por ejemplo, la cantidad de combustible quemado por los vehículos. La energía útil da una medida del trabajo real realizado con esa energía total - en el mismo ejemplo, se trata del trabajo mecánico realizado por los vehículos. La energía neta y la energía útil están relacionadas por la eficiencia, como se expresa en: Energía útil = Eficiencia * Energía neta. La comparación entre estos dos tipos de indicadores energéticos proporciona una herramienta para examinar el consumo de energía con más detalle. Por ejemplo, en la práctica, la demanda de energía útil en climatización sólo puede reducirse mediante una disminución de la carga térmica (energía útil) o una mejora del comportamiento de los consumidores (energía útil). En ambos casos, esto se traduciría en una disminución del consumo de energía de los aparatos de aire acondicionado, que a su vez representaría la razón subyacente de una disminución de la demanda de energía neta. Las intensidades se obtienen dividiendo por unidad (por ejemplo: hogar, km, etc.).

La demanda de electricidad por sectores sigue una tendencia similar. Como destaca el cuadro 17, la electricidad sigue aumentando en todos los sectores (aparte del transporte).

Tabla 17 : Demanda neta final de electricidad por sector para el segundo escenario en GWh

Sector	2018	2023	2030	2040	2050
Residencial	5,006	5,799	7,785	11,898	16,887
Servicios comerciales y administración pública	4,245	4,539	6,322	10,276	15,716
Agricultura y silvicultura	752	761	913	1,088	1,279
Transporte	0	106	2,091	5,503	9,029
Industria	2,403	2,930	4,290	8,026	15,439
Minería y construcción	34	53	122	257	617
Total	12,441	14,187	21,523	37,048	58,967

Fuente: Elaborado por los autores.

Escenario 2050 con cero emisiones

El escenario de Emisión Cero es el objetivo final de este informe, ya que promueve el carbono casi nulo en los sectores de uso de la energía para 2050.

En el sector residencial, la electricidad sigue sustituyendo a la biomasa y al GLP, pero a un ritmo mucho más agresivo que el asumido en el segundo escenario. En concreto, se asumió una mayor cantidad de energía solar para el calentamiento del agua y se eliminó por completo el GLP del sector de la cocina para 2030 en favor de la biomasa sostenible y la electricidad por completo. Además, la sustitución de las fuentes de combustible para la iluminación, el bombeo de agua y otros usos eliminó los derivados del petróleo y supuso la electrificación completa para 2050.

En el sector comercial, las aplicaciones para cocinar se cambiaron más agresivamente de combustible de biomasa a combustible eléctrico, incluso más que en el segundo escenario. Para ello, el GLP se retira de la cocina como combustible a partir de 2040. Los métodos tradicionales de cocción permanecen intactos con la evidente sustitución de la biomasa por tipos derivados de forma sostenible. Sin embargo, también en este caso se elimina el GLP a partir de 2040 y la energía solar adquiere una presencia más significativa en el subsector de calentamiento de agua del espacio comercial.

En el sector industrial, se desarrolla y adopta la electricidad y la energía solar en los procesos industriales. En el sector industrial, el GLP y otros derivados del petróleo se eliminan en 2040. Además, se supone que el carbón de coque será totalmente sustituido por el carbón vegetal en 2050, creando una oportunidad para que la biomasa sostenible sustituya a los combustibles fósiles en los procesos industriales de mayor temperatura. En el escenario de emisiones cero también se prevé que el transporte interno del sector pase a ser totalmente eléctrico o con mezclas de biocombustibles al 100% en 2050.

En el sector del transporte, el transporte aéreo sigue viendo el desarrollo y la implantación del biochorro a un ritmo del 2% de este subsector en 2030 al 50% en 2050. El transporte fluvial, al igual que en el segundo escenario, sigue viendo cómo se pasa de los combustibles fósiles a la energía eléctrica y a las baterías de combustible de hidrógeno. Por último, el transporte terrestre, el mayor de los sectores del transporte, ve una adopción aún más agresiva de vehículos eléctricos y de combustibles alternativos. En concreto, todos los derivados del petróleo desaparecen en 2050, siendo sustituidos por electricidad, baterías de combustible de hidrógeno o una mezcla de combustible 100% de bioetanol, lo que contrasta con la moderada dependencia de los combustibles fósiles que se observa en el segundo escenario. Si bien sería ideal el uso de vehículos 100% eléctricos y de celdas de combustible de hidrógeno en 2050, la penetración de tales tecnologías en entornos rurales será difícil, por lo que el biocombustible sigue siendo la fuente de combustible alternativa ideal y principal para las regiones geográficas remotas y rurales de Paraguay.

Se asumieron ajustes similares en las intensidades de energía útil que en el segundo escenario y la eficiencia energética en este escenario sigue siendo comparable a la del segundo escenario con aparatos mejorados y más eficientes y marcos políticos para el cambio de hábitos. La parte restante del producto petrolífero en 2050 es el combustible no sostenible para el sector del transporte aéreo.

La tabla 18 presenta los resultados del modelo LEAP para la demanda energética neta de este escenario en cantidades absolutas, teniendo en cuenta los resultados de todos los supuestos mencionados.

Tabla 18 : Demanda de energía neta final por tipo de combustible para el segundo escenario en ktep

Fuente	2018	2023	2030	2040	2050
Electricidad	1,111	1,359	2,125	3,712	6,047
Productos petrolíferos	2,732	3,153	2,161	956	143
Biomasa sólida	541	841	1,706	3,705	5,997
Biomasa sólida no sostenible	1,622	1,262	731	0	0
Biocombustibles líquidos	165	695	1,866	2,502	1,871
Solar	0	3	41	166	461
Hidrógeno	0	0	66	162	230
Total	6,171	7,314	8,697	11,203	14,749

Fuente: Elaborado por los autores.

La demanda de electricidad por sectores sigue una tendencia similar a la anterior y, como destaca el cuadro 19, la demanda de electricidad sigue aumentando a un nivel superior en más de 10 TWh al del segundo escenario en 2050.

Tabla 19 : Demanda neta final de electricidad por sector para el segundo escenario en GWh

Sector	2018	2023	2030	2040	2050
Residencial	5,006	6,354	8,919	13,550	17,807
Servicios comerciales y administración pública	4,245	4,551	6,284	10,205	15,496
Agricultura y silvicultura	752	761	913	1,088	1,279
Transporte	0	40	2,230	6,360	13,587
Industria	2,403	3,569	5,757	11,230	21,058
Minería y construcción	34	53	122	257	617
Total	12,441	15,328	24,225	42,690	69,843

Fuente: Elaborado por los autores.

Los aumentos más significativos de la demanda de electricidad proceden de los sectores del transporte y de la industria, ambos con un crecimiento superior al 40% de su respectiva demanda de electricidad para el año 2050 en los escenarios de la Política Estatal. La supresión de los derivados del petróleo junto con la adopción más agresiva de procesos y maquinaria electrificados son los principales catalizadores de este aumento de la demanda.

Apéndice C: Escenario de políticas declaradas

Este apéndice describe aspectos clave del escenario de políticas declaradas desarrollado en una iteración anterior del modelo LEAP, como se menciona en la sección 1.3 del informe.

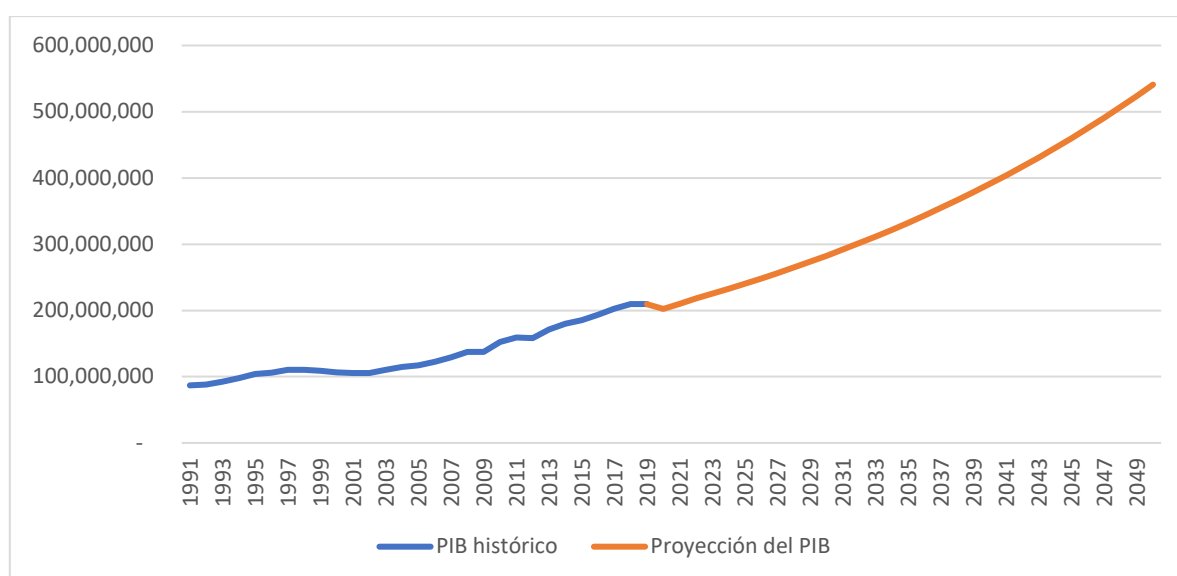
1. Supuestos clave

Los supuestos clave implican los factores que impulsan la evolución de la demanda energética de cada sector. Al caracterizar la evolución de los supuestos clave, se puede estimar la evolución de la demanda. Las variables de los supuestos clave para el modelo son el PIB y la población (Figuras 2 y 4, respectivamente), y a partir de ellas se calculan los niveles de actividad.

1.1 Producto Interno Bruto (PIB)

La proyección a partir de 2019, basada en las estimaciones de tasas de crecimiento realizadas por el Banco Central del Paraguay (BCP), sigue la tendencia histórica del PIB. La tasa de crecimiento anual conservadora es del 3,3%.

Figura 3: Proyección del Producto Interno Bruto



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Central del Paraguay.

Se considera la siguiente evolución de las cuotas de valor añadido de crecimiento de los sectores:

Cuadro 20: Proporción del VAB entre los sectores

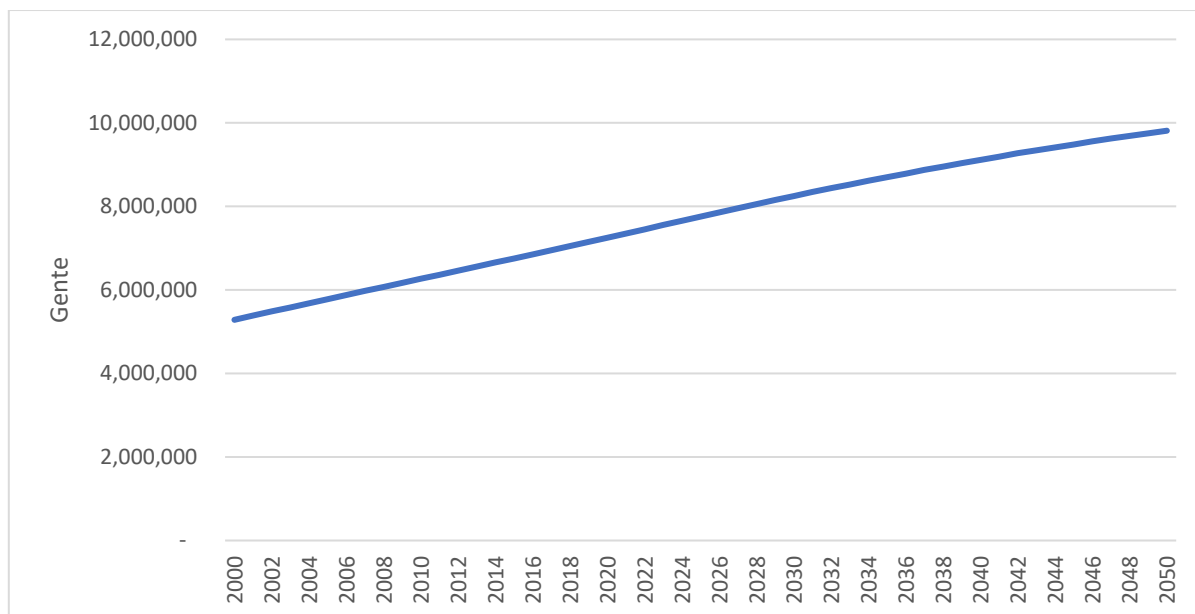
Sector	Valores históricos			Valores proyectados		
	1991-2000	2001-2010	2011-2018	2019-2030	2031-2040	2041-2050
Agricultura y silvicultura	8.2%	10.5%	12.0%	12.7%	13.1%	13.5%
Minería y construcción	7.5%	6.0%	6.8%	7.0%	7.0%	7.0%
Industria	25.1%	22.2%	20.4%	19.5%	19.1%	18.9%
Comercial y Servicios	45.8%	46.7%	47.1%	47.5%	47.5%	47.5%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Central del Paraguay.

2.1.2 Población

Las proyecciones de población, así como la previsión del número de hogares por zonas rurales y urbanas siguen las de los documentos oficiales de la Dirección General de Estadística y Censos (DGEEC) al igual que en el modelo LEAP descrito en el Apéndice B.

Figura 4: Proyección de la población



Fuente: Elaboración propia a partir de la DGEEC

1.1 Políticas consideradas

Las medidas políticas para el sector residencial incluyen:

- Cambio del porcentaje de las fuentes de energía según sus usos/aplicaciones. Esto está relacionado con el cambio de tecnología, por *ejemplo*, para cocinar, el cambio de GLP o madera a hornos eléctricos.
- Reducción de las necesidades de intensidad energética útil. Esto podría venir dado por una mejora del comportamiento de los usuarios en cuanto al consumo de energía para reducir el despilfarro energético, por *ejemplo*, la reducción de la intensidad energética de la refrigeración.
- Reducción de las necesidades netas de intensidad energética. Esto podría darse gracias a los avances tecnológicos que mejoran la eficiencia de los equipos y artefactos.

Las medidas políticas para el sector del transporte incluyen:

- Introducción de vehículos híbridos y eléctricos.
- Mejoras en la eficiencia de los motores de combustión interna.
- Reducción del consumo de combustible en el subsector del transporte público, debido a las mejoras en el comportamiento de los conductores.

En 2018, las pérdidas eléctricas ascendieron al 24,5%, donde el 19,2% corresponde a pérdidas de distribución y el 5,4% a pérdidas de transmisión. Según la Política Energética Nacional (PEN 2040), el objetivo es reducir las pérdidas de distribución en un 12 % a medio plazo. Por lo tanto, como medida política, se considera la reducción de las pérdidas eléctricas en un 17% en 2030 (12% de distribución + 5% de transmisión). Para 2050, se espera que las pérdidas totales sean del 14%, donde las pérdidas de distribución y transmisión son del 10% y del 4%, respectivamente. Se supone que la introducción de una nueva central hidroeléctrica (Corpus Christi HPP) ampliará la capacidad de generación del sistema eléctrico.

No se ha considerado ninguna política para los demás sectores de uso final de la energía, por lo que su intensidad energética útil sigue basándose en la energía útil del año base (2018), como se describe en el Apéndice A.

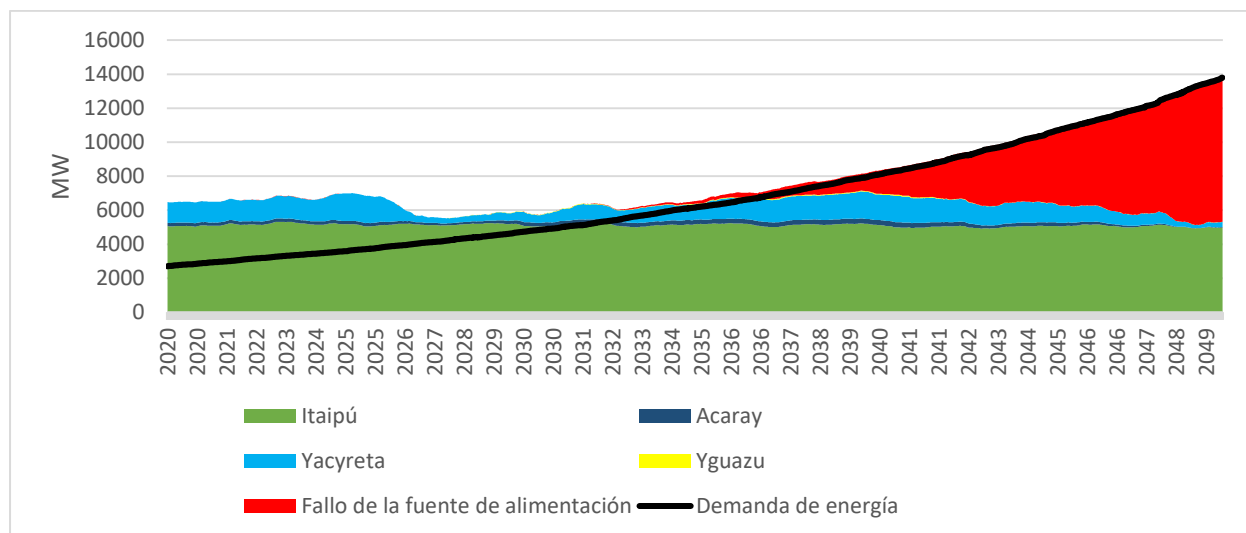
Apéndice D: Simulaciones SimSEE

Escenarios de mercado cerrados

Escenario normal

En el escenario *Business-as-Usual* (BAU), la oferta de electricidad es la de 2020 y se fija hasta 2050: los recursos de suministro incluyen las presas de Acaray, Yguazú,⁹ Itaipú, Yacyretá y Aña Cua, ya que ésta se encuentra en construcción (se suma a la capacidad de generación de Yacyretá). La tasa de crecimiento de la demanda se establece en un 5,46% dentro de Paraguay durante todo el período. Dado este crecimiento constante de la demanda de energía, el escenario BAU anticipa la crisis de abastecimiento en 2030 pero se mantiene manejable hasta 2037 donde la energía no suministrada comienza a ser mayor al 1%. Para 2043 cabe esperar una probabilidad del 100% de despacho de generación insuficiente en los picos de demanda. La figura 5 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 5: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario normal (mercado cerrado)



Fuente: Elaborado por los autores.

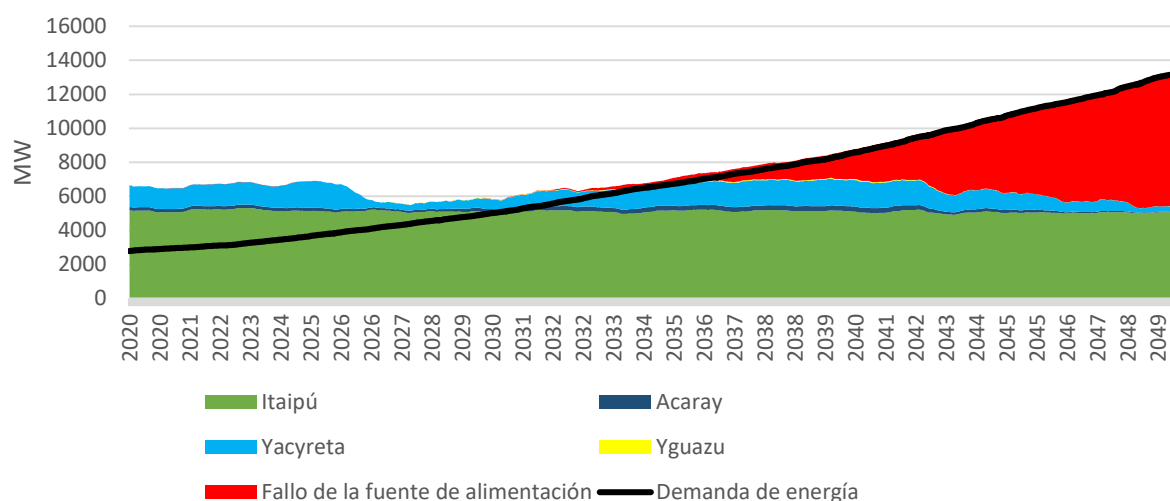
Camino a la Red Cero

Este escenario tiene en cuenta las hipótesis de crecimiento de la demanda de energía que se han tenido en cuenta en el escenario de la Senda Neta Cero introducido en el capítulo 1. En cuanto a las pérdidas de transporte y distribución, las hipótesis de reducción son del 15,5% en 2040 y del 15% en 2050, de acuerdo con la Política Energética Nacional. Como resultado de esto, el escenario de la Senda Neta Cero prevé que la crisis de suministro se produzca por primera vez en 2029 y que la probabilidad de un despacho de generación insuficiente sea del 100% en 2043. Estos valores son muy similares a los del escenario BAU debido a la combinación del aumento del consumo final y la reducción de las pérdidas eléctricas. Sin embargo, las tasas de crecimiento durante el horizonte temporal son

⁹ Yguazú es una presa existente aguas arriba de Acaray. Su función principal ahora es controlar la afluencia de agua a la central eléctrica de Acaray, pero la ANDE tiene previsto instalar turbinas y unidades de generación, y convertirla en una central eléctrica propiamente dicha, por lo que se incluye en este modelo.

diferentes. Por ejemplo, este escenario incluye tasas de crecimiento más elevadas al principio del periodo, lo que se traduce en una mayor demanda absoluta, aunque se reduzcan las pérdidas eléctricas. La figura 6 presenta la media móvil anual del despacho semanal de electricidad para el nivel máximo de demanda.

Figura 6: Balance de energía de la demanda máxima para el escenario de la senda neto cero (mercado cerrado)



Fuente: Elaborado por los autores.

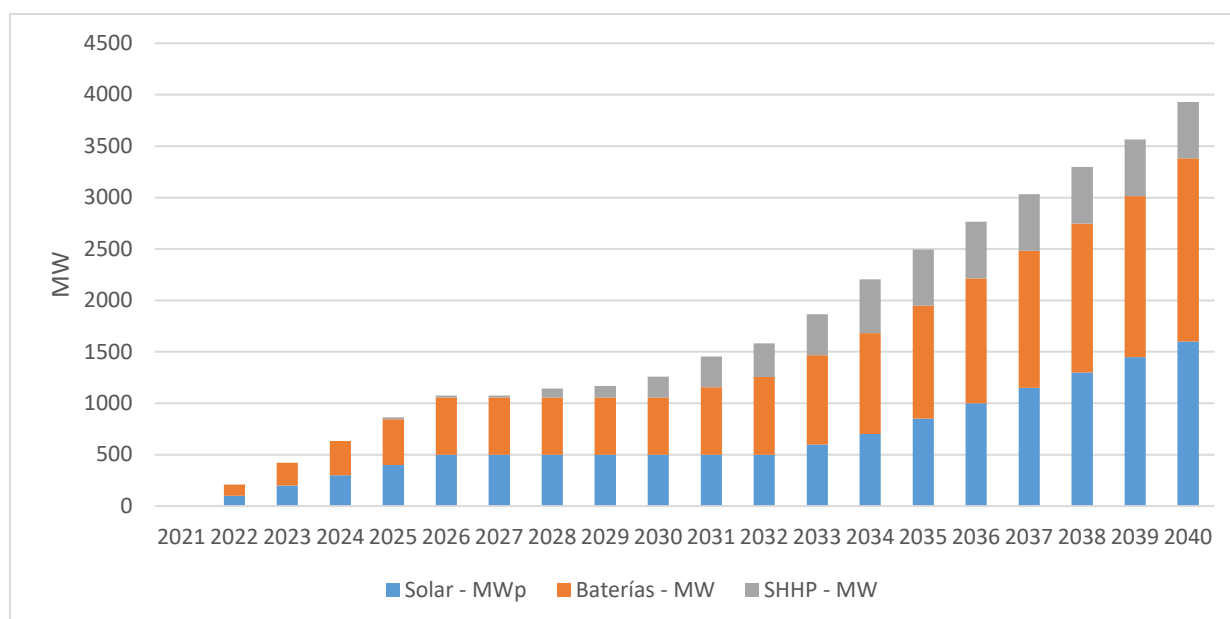
Plan Maestro de la ANDE 2021-2040

Este escenario combina las expansiones de generación eléctrica del Plan Maestro de la ANDE 2021-2040 para el suministro de energía con las hipótesis de demanda energética utilizadas en el plan. En concreto, el nuevo Plan Maestro prevé el desarrollo de 550 MW de centrales hidroeléctricas nacionales, 1.600 MW de potencial de unidades solares fotovoltaicas y 7.100 MWh de potencial de almacenamiento en baterías (véase la Figura 7). La tasa de crecimiento utilizada en este escenario se ajusta a la hipótesis del Plan Maestro del 4,88%, inferior al 5,46% previsto en el escenario BAU y también a la demanda de electricidad del escenario de emisiones cero.

Por este motivo, el año de restricción de la oferta de este escenario se adelanta ligeramente al del Plan Maestro original de la ANDE 2021-2040. **Este escenario prevé que la crisis de suministro se produzca por primera vez en 2033 para la demanda máxima.** A pesar de la incorporación de almacenamiento en baterías, sigue siendo difícil abordar la crisis de suministro debido a la gran discrepancia cronológica en el pico de carga de Paraguay (por la noche) y la oferta (picos solares al mediodía). Además, el ámbito de aplicación del plan maestro finaliza en 2040, por lo que la creciente escasez de suministro después de 2040 es evidente. La energía no suministrada prevista baja a menos del 0,01% de la demanda en 2033, y al 3% en 2040 gracias a la inversión del Plan Maestro. La probabilidad de que el despacho de generación sea insuficiente en los picos de demanda se alcanza en 2047, cuatro años más tarde que en el escenario base únicamente.

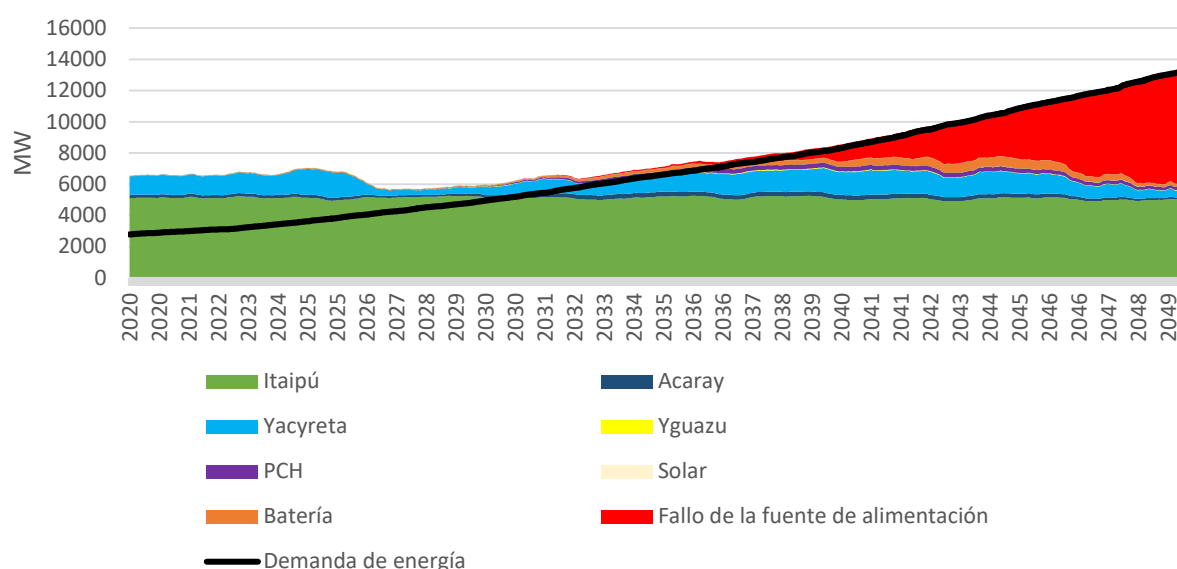
La figura 8 presenta la oferta de energía y la demanda máxima para este escenario en MW por año.

Figura 7 : Capacidad agregada en el Plan Maestro de la ANDE 2021-2040



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 8 : Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario del plan maestro de la ANDE (mercado cerrado)



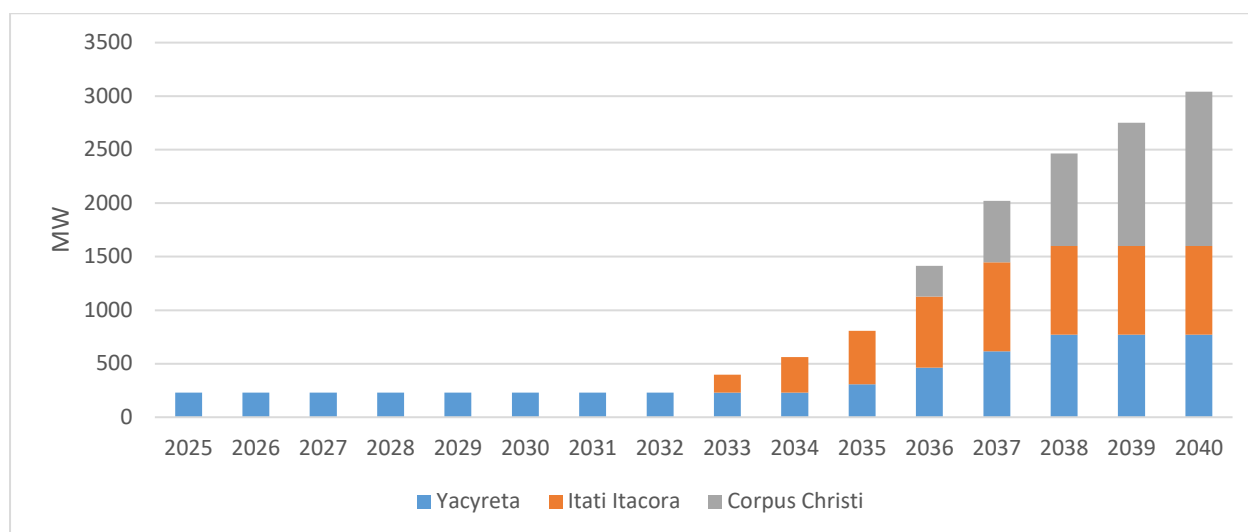
Fuente: Elaborado por los autores.

Plan Maestro de la ANDE 2021-2040 con Binacionales

Este escenario tiene los mismos supuestos subyacentes que el escenario anterior. Sin embargo, además de la energía solar (combinada con el almacenamiento en baterías) y la minihidroeléctrica como nuevas fuentes de generación, este escenario también supone la ampliación de Yacyretá y la construcción de las centrales hidroeléctricas de Itatí Itacorá y Corpus Christi, que añaden 3000 MW. La Figura9 destaca la magnitud de estas capacidades de generación adicionales por año.

Este escenario supone que los generadores entran en funcionamiento de forma progresiva y que, después de 2030, las inversiones en energía solar fotovoltaica y baterías disminuyan en favor del desarrollo de proyectos binacionales de generación hidroeléctrica.

Figura 9 : Capacidad agregada de las nuevas centrales hidroeléctricas binacionales

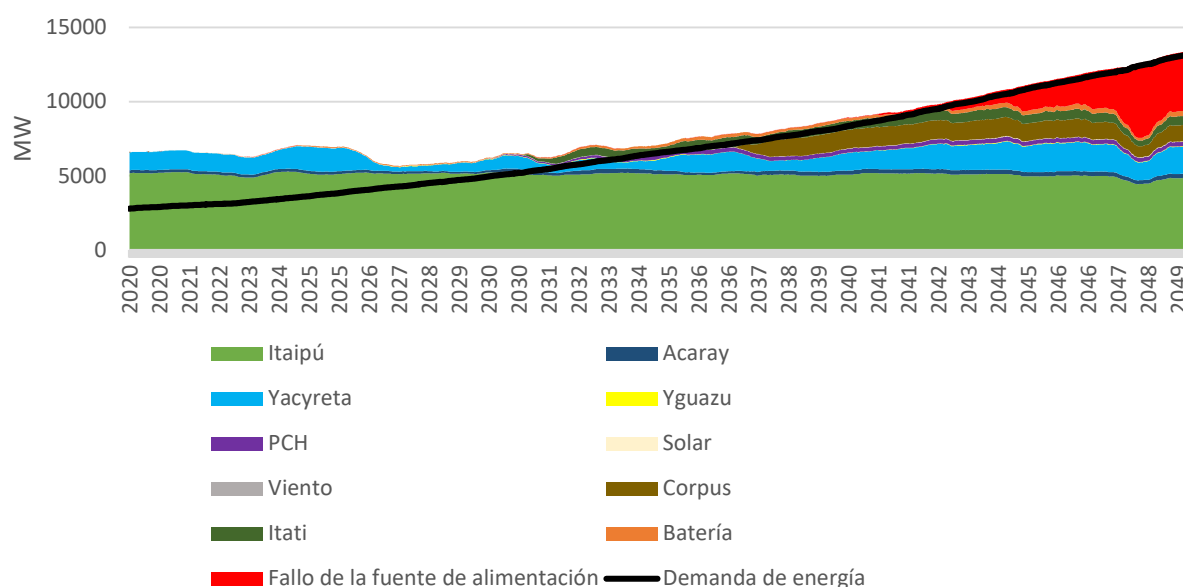


Fuente: Elaborado por los autores.

Como resultado de estas fuentes de generación adicionales, que aumentan la producción de energía firme hasta 79.000 GWh en 2040, se espera que este escenario de instalaciones hidroeléctricas binacionales aplase las apariciones significativas de la crisis de suministro hasta 2044. La primera ocurrencia de falta de suministro se inicia en 2031, pero desaparece de nuevo gracias a la progresiva entrada en funcionamiento de las binacionales según lo previsto en el Plan Maestro 2021-2040. Sin embargo, cuando Corpus Christi entre en funcionamiento en 2036-2040, Itaipú perderá parte de la producción de generación. La razón es que la creación del embalse de Corpus Christi, aguas abajo de Itaipú, determina la subida del nivel del río en la descarga de Itaipú, reduciendo así la altura de la diferencia de nivel de agua aguas arriba y aguas abajo de la presa de Itaipú.

La energía no suministrada sería el 0,03% de la demanda en 2033, y aumentaría al 15% en 2050. Estas inversiones adicionales ayudarían a reducir los fallos en el despacho de energía en comparación con los escenarios anteriores, pero la probabilidad de fallo seguiría siendo alta para el nivel de demanda máxima después de 2040, llegando al 95% en 2050. La figura10 presenta la media móvil anual del despacho eléctrico semanal para el nivel de demanda máxima.

Figura 10 : Balance de potencia de la demanda máxima para el Plan Maestro de la ANDE con centrales hidroeléctricas binacionales (mercado cerrado)

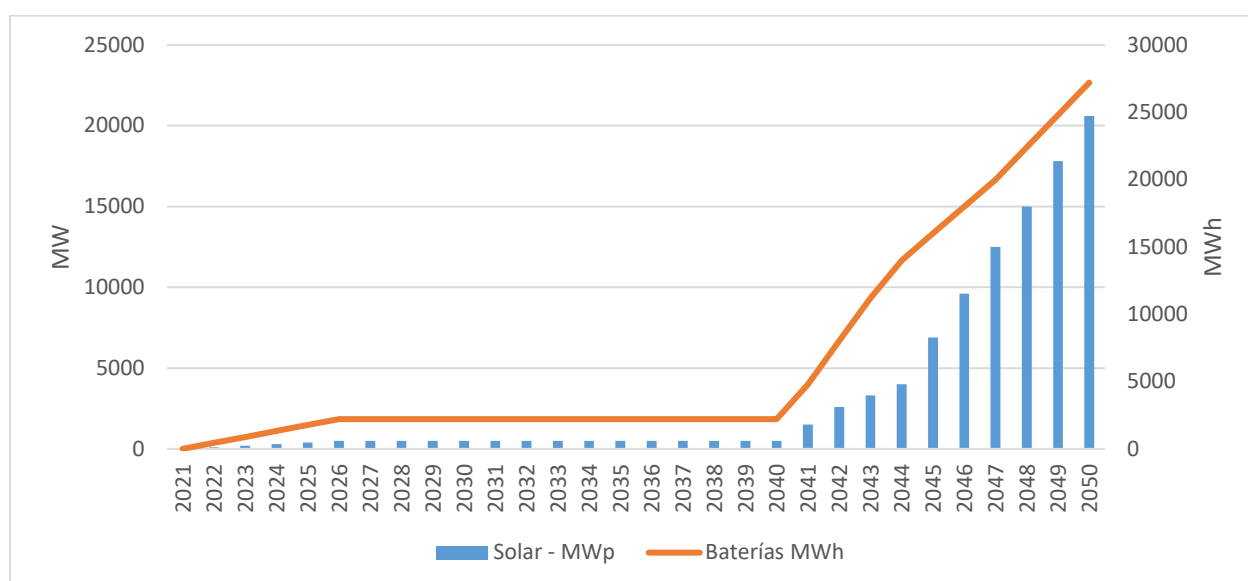


Fuente: Elaborado por los autores.

Plan Maestro de la ANDE 2021-2040 con Binacionales y Energías Renovables

Este escenario tiene los mismos supuestos subyacentes que el escenario anterior. Sin embargo, a diferencia del escenario anterior, que supone que el desarrollo de las energías renovables y el almacenamiento en baterías se detiene para 2030 en favor de la generación hidroeléctrica binacional, este escenario prevé un desarrollo significativo de estos tipos de energía después de 2040. El calendario y la magnitud del desarrollo de las energías renovables y las baterías se muestran en la Figura 25.

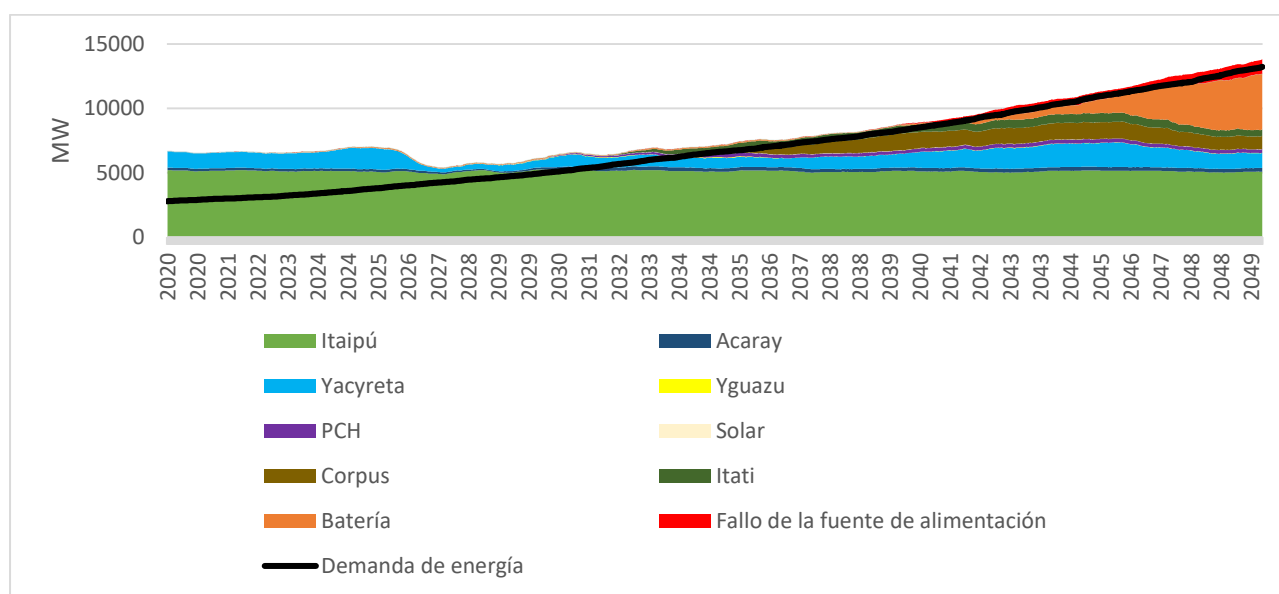
Figura 11: Capacidad agregada de energía solar fotovoltaica y baterías



Fuente: Elaborado por los autores.

Como resultado de estas fuentes de generación adicionales, se espera que este escenario binacional de energía hidroeléctrica y de refuerzo de las energías renovables postergue la primera aparición de la crisis de suministro hasta el 2042. Después de este año, la energía no suministrada oscila entre el 1,5% y el 2,2%. Como resultado de la energía solar fotovoltaica y el almacenamiento en baterías a partir de 2040, se produce una reducción mucho mayor de los fallos en el sistema de red. La figura 26 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 12: Balance de potencia de la demanda máxima para el Plan Maestro de la ANDE con centrales hidroeléctricas binacionales y escenario de energías renovables (mercado cerrado)

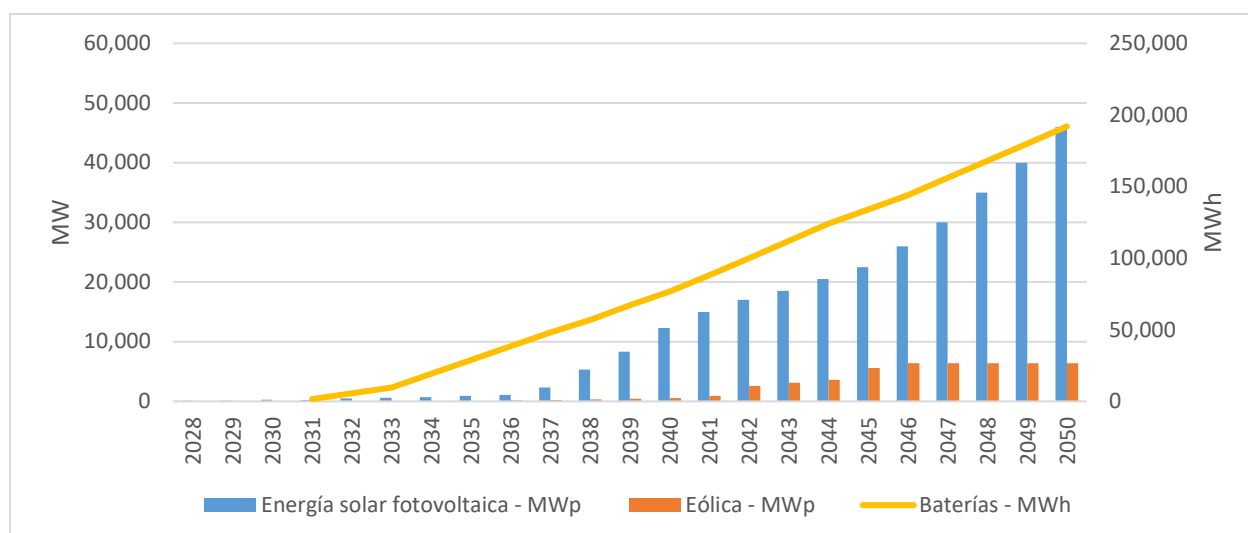


Fuente: Elaborado por los autores.

Alta inversión en energías renovables y baterías

Este escenario se basa en una agenda de alta inversión en energías renovables y generación con baterías, sin inversión en binacionales que son políticamente sensibles. Es importante señalar que, dado que se supone que toda la generación del potencial eólico se aprovechará en 2046, las fuentes de energía restantes son únicamente la solar fotovoltaica. El supuesto de esta capacidad de generación, que se estima en hasta 140.000 GWh para 2050, se presenta en la Figura 25.

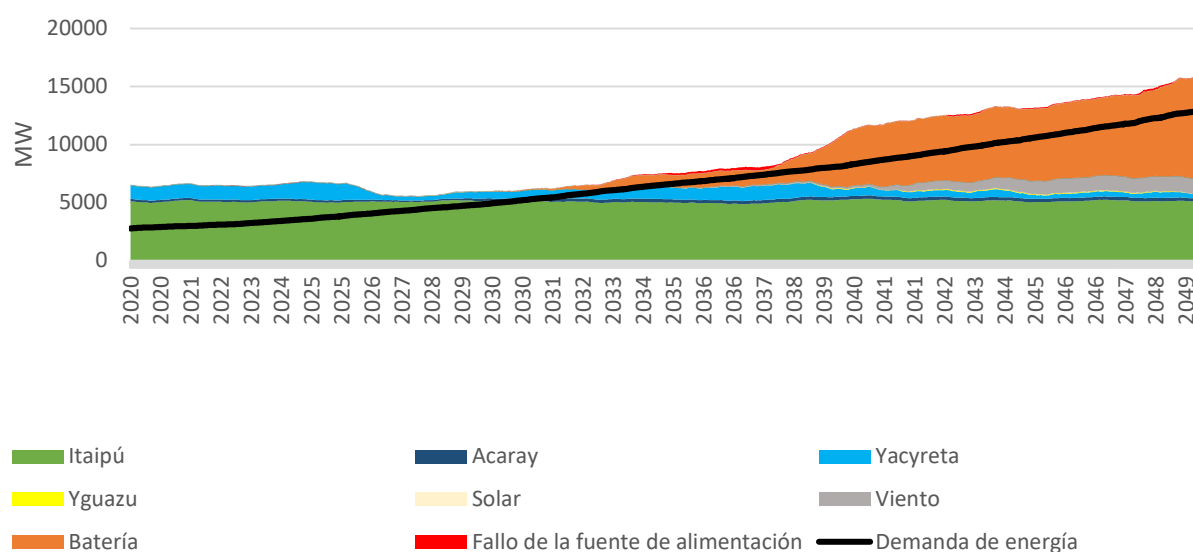
Figura 13: Capacidad agregada de las energías renovables y las baterías



Fuente: Elaborado por los autores.

Aunque hay un nivel significativo de nueva generación, las baterías no se instalan hasta después de 2030; este retraso en el arranque hace que la primera aparición de la crisis de suministro se produzca en 2030, igual que en el escenario de referencia, pero la crisis de suministro sigue siendo mínima a lo largo del periodo: la probabilidad de fallo en el despacho de energía está algo controlada, llegando a un máximo del 10%, de media, a lo largo de todo el periodo de simulación. Como el modelo SimSEE se ejecuta semanalmente, el resultado de la optimización diaria de este escenario es que la cantidad de almacenamiento en baterías necesaria es aproximadamente siete veces mayor de lo que debería. En cualquier caso, este sobredimensionamiento de la capacidad de almacenamiento permite estimar la inversión y la combinación de tecnologías necesarias para garantizar una situación de ausencia de crisis de suministro después de 2030. La figura 26 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 14: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario de alta inversión en renovables (mercado cerrado)



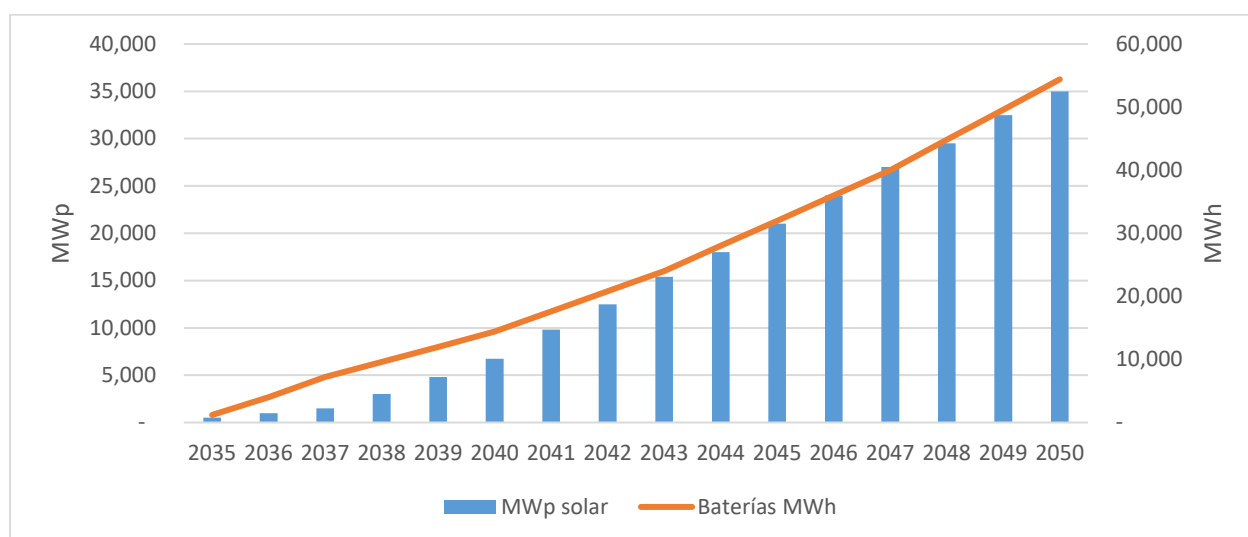
Fuente: Elaborado por los autores.

Inversión moderada en energías renovables y baterías

Este escenario tiene los mismos supuestos subyacentes que el anterior. Sin embargo, mientras que el escenario anterior de alta inversión en renovables trata de demostrar el costo necesario para reducir las frecuencias de energía no suministrada en la red y el costo marginal de las operaciones, este escenario trata de abordar la cantidad de inversión necesaria sólo para reducir el aumento esperado de energía no suministrada. Como resultado, para lograr la reducción de la energía no suministrada con un valor esperado inferior al 5% considerando el percentil 95, las inversiones hasta 2050 son de 35.000 MW de energía solar fotovoltaica y 55.000 MWh de baterías, lo que corresponde a 10.000 MW menos de energía solar fotovoltaica y casi cuatro veces menos inversiones en baterías que en el escenario de alta inversión.

El gráfico 25 destaca la magnitud de estas capacidades de generación adicionales por año.

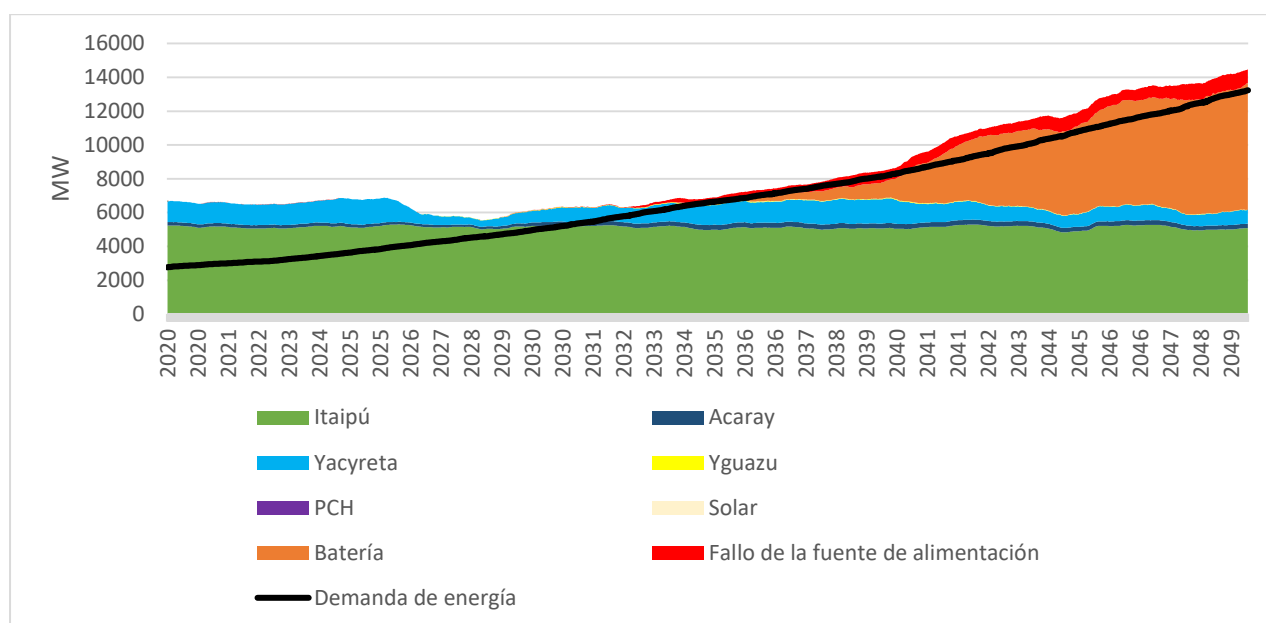
Figura 15: Capacidad agregada de nuevas energías renovables y baterías



Fuente: Elaborado por los autores.

Aunque hay un nivel significativo de nueva generación, su inicio retrasado hasta 2030 significa que la capacidad de generación mantiene los niveles actuales, al igual que en el escenario anterior. Como resultado, la primera crisis de suministro se mantiene en 2030, pero la energía no suministrada es mayor que en el escenario anterior. La energía no suministrada de este escenario alcanza el 3% en 2050. La inversión en el suministro de generación es aproximadamente un 25% superior a la demanda energética de cada año y por falta de salida a la exportación se desperdicia. La figura 26 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 16: Balance de potencia de la demanda máxima para un escenario de inversión en renovables moderado (mercado cerrado)



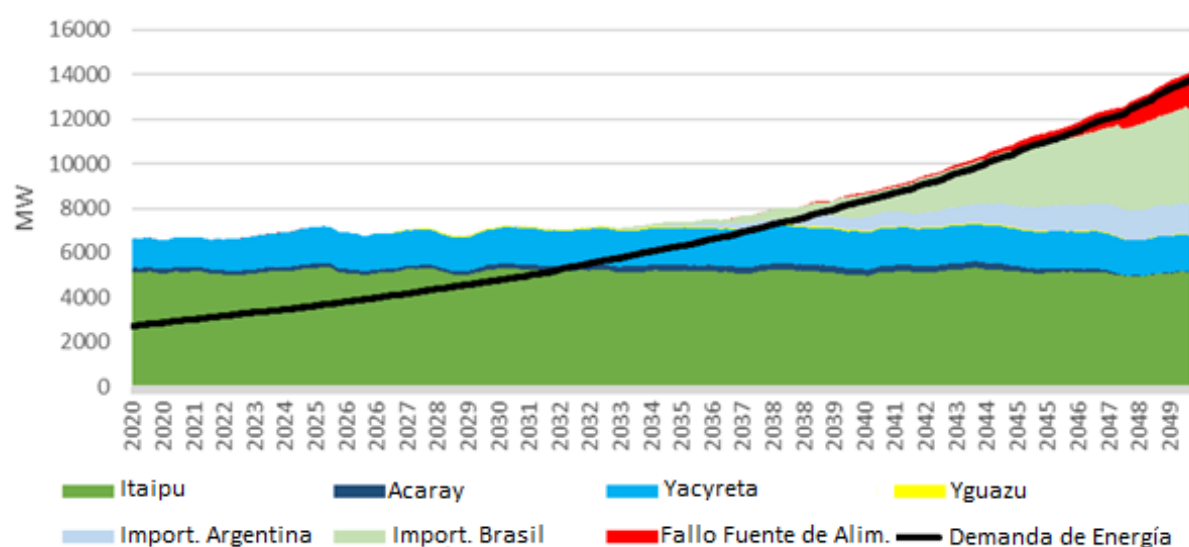
Fuente: Elaborado por los autores.

Escenarios de mercado abierto

Escenario normal

El escenario Business-as-Usual (BAU), que supone una proyección de crecimiento de la demanda del 5,46% para cada año hasta 2050 y el mismo suministro de energía actual, ve cómo la primera ocurrencia del año de crisis de suministro se desplaza de 2030 a 2038 en comparación con el mercado cerrado presentado en el capítulo 2. La figura 36 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 17: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario normal (mercado abierto)



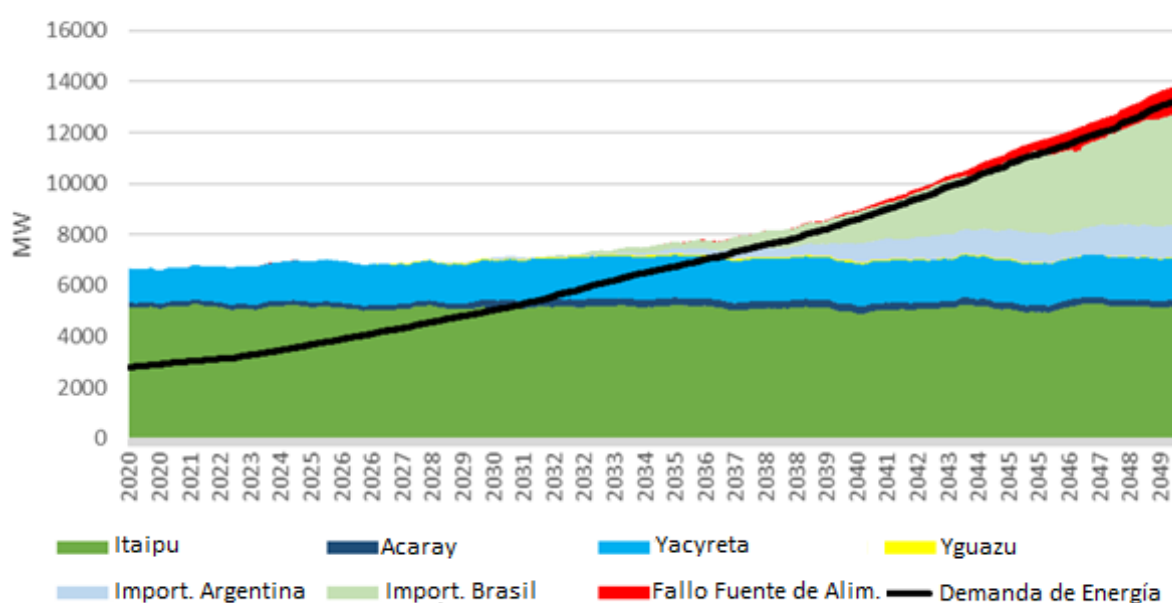
Fuente: Elaborado por los autores.

Permitir un mercado abierto permite las importaciones de Brasil y Argentina, que proporcionan el 55,6% de toda la energía demandada en 2050. Con un mercado abierto, la energía no suministrada alcanzaría el 0,06% y el 3,2% de la demanda en 2040 y 2050, respectivamente, lo que supondría unas importaciones de 3200 GWh y 34.000 GWh, respectivamente. Con la disponibilidad de enlaces de transmisión transfronterizos, la probabilidad de que el despacho de energía falle para el nivel de demanda máxima se reduce al 60%, de media, en 2050.

Camino a la Red Cero

En este escenario, que considera las hipótesis de crecimiento de la demanda de energía que se han tenido en cuenta en el escenario de la Senda Neta Cero introducido en el capítulo 1, se produce un retraso similar en la crisis de suministro, postergándola también hasta 2038. En 2040, la energía no suministrada se reduce del 4,88% de la demanda en el mercado cerrado al 0,6% de la demanda en el mercado abierto. La energía no suministrada en el mercado abierto alcanza el 3,3% de la demanda en 2050. La figura 37 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 18: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario cero neto (mercado abierto)



Fuente: Elaborado por los autores.

Un mercado abierto permite las importaciones de energía de Brasil y Argentina y proporcionan el 52,1% de toda la energía demandada en 2050. Al igual que en el escenario base, el mercado abierto disminuye la probabilidad de fracaso al 60% en 2050.

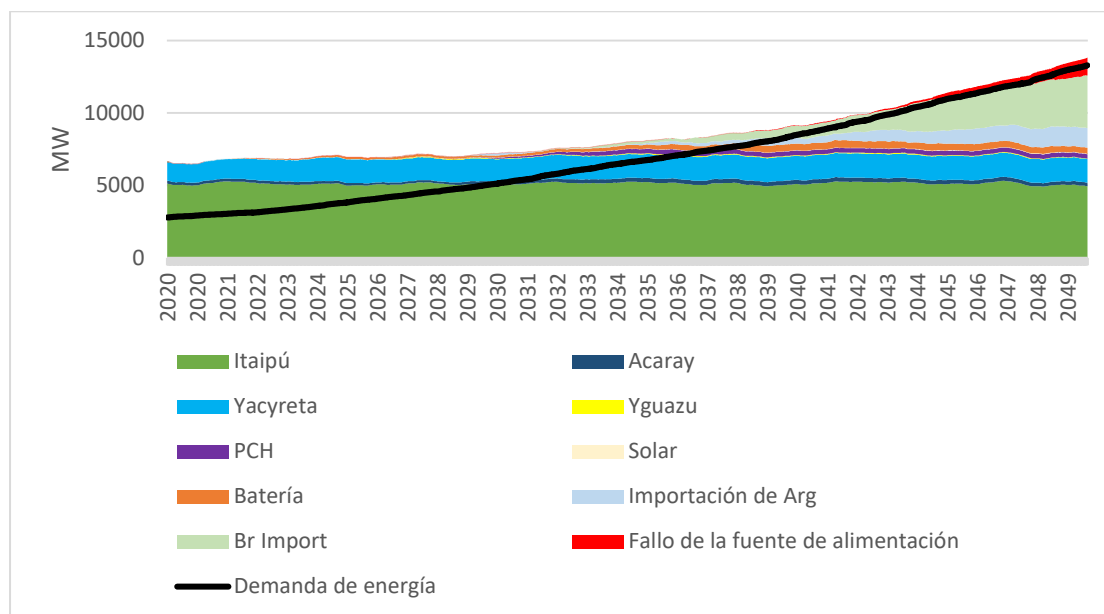
Plan Maestro de la ANDE 2021-2040

Este escenario, que también tiene en cuenta las hipótesis de crecimiento de la demanda de energía que se recogen en el escenario de la Senda Neta Cero introducido en el capítulo 1, también se adhiere

a las adiciones de capacidad de generación previstas en el Plan Maestro de la ANDE hasta 2040. Como resultado de un mercado abierto, la escasez de suministro se retrasa hasta 2039, y las importaciones brasileñas suponen una gran parte de la diferencia. En 2040, la energía no suministrada se reduce del 3% de la demanda en el mercado cerrado al 0,04% de la demanda en el mercado abierto. La energía no suministrada en el mercado abierto alcanza el 2,4% de la demanda en 2050.

La figura38 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 19 : Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario del plan maestro de la ANDE (mercado abierto)

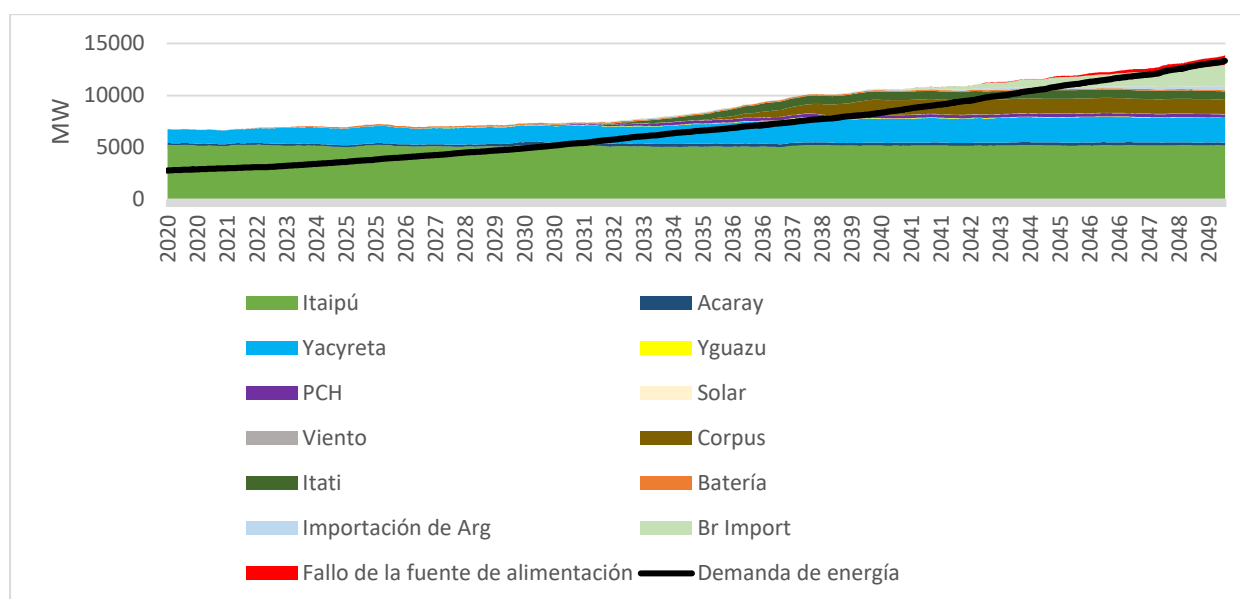


Fuente: Elaborado por los autores.

Plan Maestro de la ANDE 2021-2040 con Binacionales

La combinación del mercado abierto y el desarrollo de la energía hidroeléctrica binacional, además de la expansión de la generación del Plan Maestro 2021-2040, retrasa la crisis de suministro hasta 2045. La energía no suministrada en 2040 sería muy inferior al 0,01% de la demanda (desde el 0,03% en el mercado cerrado), mientras que en 2050 sería del 1,0% (frente al 15% en el mercado cerrado), con unas importaciones netas de 14.000 GWh. La figura39 presenta la media móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 20 : Balance de potencia de la demanda máxima para el Plan Maestro de la ANDE con el escenario de las centrales hidroeléctricas binacionales (mercado abierto)



Fuente: Elaborado por los autores.

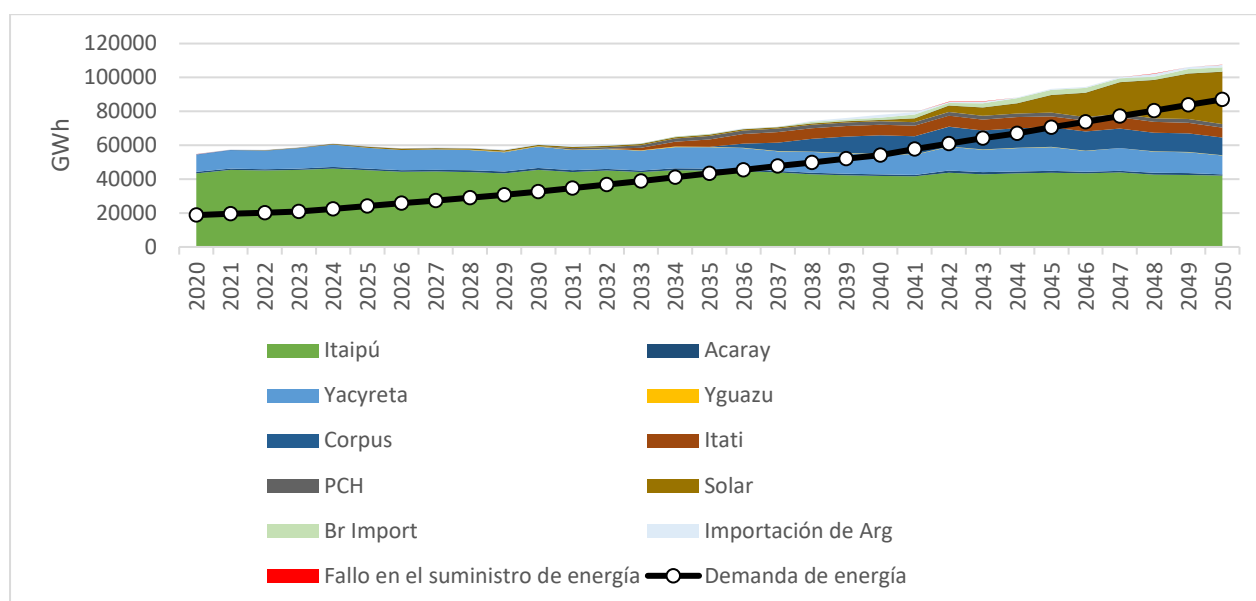
Un mercado abierto permite la importación de energía de Brasil y Argentina, que proporcionarían el 23,0% de toda la energía requerida en el 2050.

Plan Maestro de la ANDE 2021-2040 con Binacionales y Energías Renovables y Baterías

Este escenario supone un aumento significativo de la tecnología solar y de almacenamiento en baterías en Paraguay tras la finalización de los proyectos hidroeléctricos binacionales a partir de 2040. Como resultado de esta capacidad generacional y el potencial de las importaciones de energía, no hay crisis de suministro entre 2020 y 2050, ya que toda la demanda de energía está cubierta.

La figura40 presenta el promedio anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 21: Balance de potencia de la demanda máxima para el Plan Maestro de la ANDE con centrales hidroeléctricas binacionales y escenario de energías renovables (mercado abierto)

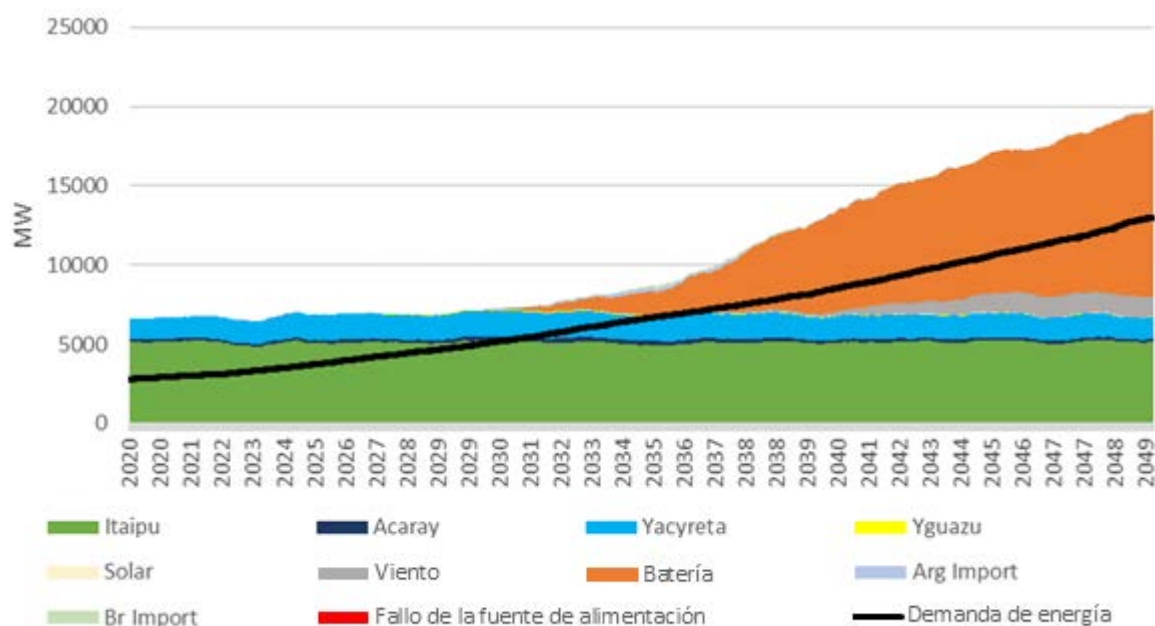


Fuente: Elaborado por los autores.

Alta inversión en energías renovables

Este escenario supone un aumento significativo de la tecnología solar, eólica y de almacenamiento en baterías dentro de Paraguay entre 2030 y 2050, lo que llevó a que no se produjera una crisis de suministro entre 2020 y 2050, ya que toda la demanda energética se satisface con energía renovable. El excedente de las renovables en las épocas de baja demanda (otoño e invierno) se exporta incluso y a partir de 2035, el excedente de energía comienza a acumularse debido a la alta penetración de las energías renovables y la mayor parte si se exporta a los mercados de Brasil y Argentina. A diferencia del escenario anterior, este alto acceso al almacenamiento en baterías reduce la dependencia de la energía importada a casi cero. Es importante señalar que las escasas importaciones de energía procedentes de Argentina y Brasil se utilizan para abastecer las necesidades de carga que las inversiones en renovables no pueden cubrir, por ejemplo, debido al desajuste cronológico entre los picos de demanda y la irradiación solar o a la inestabilidad de las entradas de agua en las represas. La figura40 presenta el promedio anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 22: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario de alta inversión en renovables (mercado abierto)



Fuente: Elaborado por los autores.

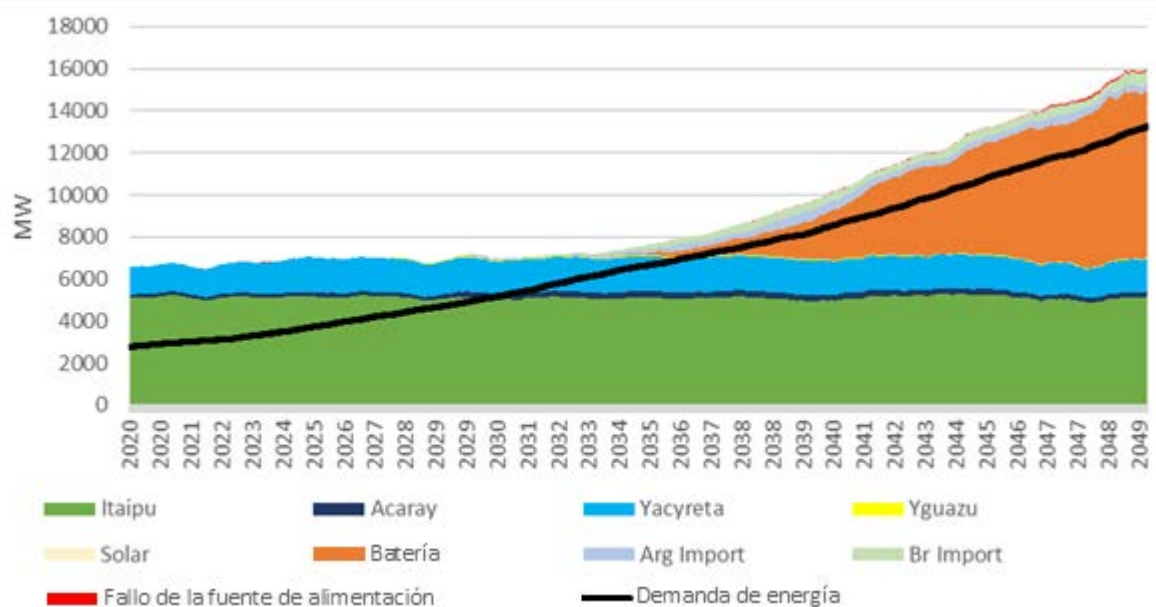
Observamos aquí que los fallos no pueden reducirse completamente ni siquiera para los periodos en los que las inversiones en almacenamiento de baterías son masivas. Una de las principales explicaciones es que el propio modelo es limitado, ya que optimiza el despacho de energía en una base semanal mientras que el modo de funcionamiento tradicional de una batería está relacionado con una optimización intradiaria. En este modelo, la optimización consiste en cargar la batería en las semanas de menor demanda de energía para abastecer el almacenamiento en las semanas de mayor y máxima demanda, pero con la restricción de la capacidad energética semanal. Esto implica que el tamaño de la batería es aproximadamente siete veces mayor que si los ciclos de carga/descarga fueran intradiarios. Sin embargo, este "sobredimensionamiento" permite estimar la cantidad de inversión y la combinación de tecnologías necesarias para garantizar una situación de energía no suministrada insignificante y un excedente de energía para exportar a los países vecinos.

Inversión moderada en energías renovables

Este escenario final supone un aumento moderado de la tecnología solar, eólica y de almacenamiento en baterías en Paraguay entre 2030 y 2050 para reducir la cantidad de energía no suministrada prevista. Como resultado, de nuevo no hay crisis de suministro entre 2020 y 2050 y, al igual que en el escenario anterior, la dependencia de las importaciones es poca, pero sigue siendo necesaria para abastecer las cargas que no pueden ser satisfechas por las energías renovables o por las presas hidroeléctricas debido a la baja afluencia de agua.

La figura40 presenta el promedio móvil anual del despacho semanal de energía para el nivel máximo de demanda.

Figura 23: Balance de potencia de la demanda máxima para el escenario de inversión en energías renovables moderadas (mercado abierto)



Fuente: Elaborado por los autores.

Apéndice E: Lista de leyes de referencia

República de Paraguay:

Ley "Que crea la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) como ente autárquico y establece su Carta Orgánica", No. 966, 12 de agosto de 1964,

https://www.economia.gov.py/application/files/2714/6713/9098/1964_Ley_N_966_Carta_Organica_ANDE.pdf.

Ley "Que establece la ley forestal de Paraguay", N° 422, 23 de noviembre de 1973,

<https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2370/ley-n-422-forestal>.

Ley "Que prohíbe la exportación y tráfico de rollos, trozos y vigas de madera", No. 515, 9 de diciembre de 1994, http://www.infona.gov.py/application/files/6816/0074/5818/ley_515.pdf.

Ley "De fomento a la forestación y reforestación", n° 536, 16 de enero de 1995,

<https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/8510/ley-n-536-de-fomento-a-la-forestacion-y-reforestacion>.

Ley "Que prohíbe actividades de transformación y conversión de superficies con cobertura de bosques en la región oriental", N° 2524, 13 de diciembre de 2004, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/3507/ley-n-2524-prohibicion-en-la-region-oriental-de-las-actividades-de-transformacion-y-conversion-de-superficies-con-cobertura-de-bosques>.

Ley "De fomento de los biocombustibles", N° 2748, 12 de octubre de 2005,

<https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2537/fomento-de-los-biocombustibles>.

Decreto "Por el cual se reglamenta la ley 2748/2005", N° 7412, 27 de abril de 2006,

https://www.mic.gov.py/mic/w/mic/pdf/DecretoN7412_2006-ReglamentalaLeyN2748.pdf.

Ley "De valoración y retribución de los servicios ambientales", No. 3001, 19 de septiembre de 2006,

<https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2085/ley-n-3001-valoracion-y-retribucion-de-los-servicios-ambientales>.

Ley "De la producción y transporte independiente de energía eléctrica (PTIEE)", n° 3009, 28 de septiembre de 2006, <https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/leyes/Ley%203009%20PTIEE.pdf>.

Resolución "Instrumento de compromiso entre ANDE, Electrobras e Itaipu Binacional sobre aspectos técnicos y de contratación de los servicios de electricidad de la Itaipu Binacional", n° 170, 1 de febrero de 2007.

Resolución "Contratos de compra y venta de los servicios de electricidad de la Itaipu", n° 170, 26 de marzo de 2007.

Resolución "Que aclare el artículo 42 de la ley 3001/06", n° 531, 2008,

http://mades.gov.py/sites/default/files/resolucion_531_08.pdf.

Decreto "Por el cual se establece el régimen de incentivos para fomentar el desarrollo de los biocombustibles en el país, se disponen medidas relativas a la comercialización de combustibles derivados del petróleo y se deroga el decreto 12.103/2008", No. 12.240, 26 de mayo de 2008,

https://www.set.gov.py/portal/PARAGUAY-SET/detail?folder-id=repository:collaboration:sites/PARAGUAY-SET/categories/SET/Normativas/decretos/2008&content-id=/repository/collaboration/sites/PARAGUAY-SET/documents/decretos/2008/Anexo_al_Decreto_N_12.240-08.pdf.

Ley "Que amplíe la tarifa social de energía eléctrica", N° 3480, 27 de mayo de 2008, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/154/amplia-la-tarifa-social-de-energia-electrica>.

Resolución "Por la que se establece como exigencia la certificación técnica del fabricante para la importación de vehículos 'flex fuel', a fin de acogerse a los beneficios arancelarios previstos en el decreto 12.240/2008", n° 280, 13 de junio de 2008, <http://www.agencia-aduanera-almeida.com/files/resolucion-280.php.pdf>.

Decreto "Que regimenta de incentivos para fomentar el desarrollo de los biocombustibles en el país," No. 3667, 17 de diciembre de 2009, https://www.set.gov.py/rest/contents/download/collaboration/sites/PARAGUAY-SET/documents/decretos/2009/Decreto_N_3.667-09.pdf.

Decreto "Por el cual se modifican los artículos 2 y 21 del decreto 7412/2006 que reglamenta la ley 2748/2005," No. 4953, 23 de agosto de 2010, <https://www.leyes.com.py/buscar/?c=25>.

Ley "Que establece la distribución y depósito de parte de los denominados 'Royalites' y 'compensaciones en razón del territorio inundado' a los gobiernos departamentales y municipales", N° 3984, 1 de octubre de 2010, <https://www.bacn.gov.py/archivos/3520/20150708140414.pdf>.

Decreto "Que reglamenta la Ley 3480/2008", N° 6474, 2011, https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1218&Itemid=605.

Ley "Que modifica el artículo 1 de la ley 2018/2002, modificada por la ley 2153/2003," No. 4333, 31 de mayo de 2011, <https://www.bacn.gov.py/archivos/3705/20150803114012.pdf>.

Ley "De incentivos a la importación de vehículos eléctricos", No. 4601, 3 de mayo de 2012, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2958/ley-n-4601-de-incentivos-a-la-importacion-de-vehiculos-electricos>.

Ley "Que crea el fondo nacional de inversión pública y desarrollo (fonacide) y el fondo para la excelencia de la educación y la investigación", N° 4758, 25 de septiembre de 2012, <https://www.bacn.gov.py/archivos/3151/20150324092346.pdf>.

Ley "Que declara de interés nacional el cultivo, la producción, la comercialización de la variedad de jatropha curcas (piñon manso o camandu)," No. 4729, 4 de octubre de 2012, <https://www.bacn.gov.py/archivos/3137/20150319143940.pdf>.

Decreto "Que declara de interés nacional la implementación del plan nacional de reforestación", N° 10.174, 30 de noviembre de 2012, <http://www.silvapar.com/publications/infonewsletter/2013-01-15/1.%20Decreto%20Interes%20Nacional%20Forestal.pdf>.

Decreto "Que reglamenta la ley 2748/2005 de fomento de los biocombustibles", N° 10.703, 22 de febrero de 2013, https://www.mic.gov.py/mic/w/mic/informes_decretos.php.

Ley "Que modifica y amplía la ley 1302/1998", N° 5074, 25 de octubre de 2013, <https://www.bacn.gov.py/archivos/4726/20160408101751.pdf>.

Ley "De responsabilidad fiscal", N° 5098, 31 de octubre de 2013, <https://www.bacn.gov.py/archivos/4671/20160404110615.pdf>.

Ley "Que modifica la ley 4601/2012 de incentivos a la importación de vehículos eléctricos", N° 5183, 26 de mayo de 2014, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/2957/modifica-la-ley-n-460112-de-incentivos-a-la-importacion-de-vehiculos-electricos>.

Ley "De fomento de consumo de alcohol absoluto y alcohol carburante", N° 5444, 14 de julio de 2015, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/4433/ley-n-5444-fomento-de-consumo-de-alcohol-absoluto-y-alcohol-carburante>.

Decreto "Para establecer regímenes de certificación, control y promoción del uso de bioenergías", N° 4056, 23 de septiembre de 2015, <https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/varios/282503766-Presentacion-Decreto-4056-15-ver-23-09.pdf>.

Ley "Que aprueba el presupuesto general de la nación para el ejercicio fiscal 2016", N° 5554, 11 de enero de 2016, <http://silpy.congreso.gov.py/ley/136745>.

Decreto "Por el cual se reglamenta la ley 5554/2016", N° 4774, 19 de enero de 2016, http://www.correoparaguay.gov.py/application/files/6014/7015/5977/Decreto_4774.pdf.

Ley "Que apruebe el acuerdo de París sobre el cambio climático", n° 5681, 6 de octubre de 2016, <http://dncc.mades.gov.py/wp-content/uploads/2018/11/Ley-de-Acuerdo-de-Par%C3%ADs.pdf>.

Decreto "Por el cual se aprueba la política energética de la república del Paraguay, se designa coordinador y secretario ejecutivo para su difusión y ejecución", N° 6092, 10 de octubre de 2016, <https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/decretos/DECRETO%206092.pdf>.

Decreto "Que aprueba el Pliego de Tarifas No. 21", No. 6904, 10 de marzo de 2017, <https://www.ande.gov.py/docs/tarifas/PLIEGO21.pdf>.

Ley "De gestión integral de pilas y baterías de uso doméstico", N° 5882, 18 de septiembre de 2017, <http://digesto.senado.gov.py/archivos/file/Ley%205882-2017.pdf>.

Ley "Que prohíbe actividades de transformación y conversión de superficies con cobertura de bosques en la región oriental", N° 6256, 14 de diciembre de 2018, <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/8711/ley-n-6256-prohibe-las-actividades-de-transformacion-y-conversion-de-superficies-con-cobertura-de-bosques-en-la-region-oriental>.

Dictamen "que expone los términos de los impuestos de biocombustibles", n° 34, 28 de diciembre de 2018, <https://www.set.gov.py/portal/rest/jcr/repository/collaboration/sites/PARAGUAY-SET/documents/resoluciones/2018/Resoluci%C3%B3n%20de%20Actualizaci%C3%B3n%20N%C2%B0%20001%20-%202018.pdf>.

Decreto "Por el cual se reglamenta la ley 5211/2014 'de calidad del aire'", N° 1269, 13 de febrero de 2019, <http://digesto.senado.gov.py/ups/leyes/10553%20.pdf>.

Ley "Que otorga garantía del estado paraguayo, por medio del tesoro público, a obras de distribución y transmisión de energía eléctrica realizadas por la administración nacional de electricidad (ANDE), bajo la modalidad de licitación pública con financiamiento prevista en el artículo 17 de la ley 2051/2003", N° 6324, 4 de julio de 2019, <https://www.bacn.gov.py/archivos/8845/Ley%206324.pdf>.

Ley "Que aprueba el acuerdo de proyecto entre la república del Paraguay y la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura FAO en su calidad de entidad acreditada del fondo verde para el clima FVC", N° 6466, 19 de diciembre de 2019, <https://www.bacn.gov.py/archivos/9113/LEY%206466.pdf>.

Decreto "Por el cual se conforma el equipo negociador para la revisión del Anexo "C" del Tratado de Itaipú, sobre las bases financieras y de prestación de los servicios de electricidad de Itaipú Binacional", N° 3173, 30 de diciembre de 2019, https://www.presidencia.gov.py/archivos/documentos/DECRETO3173_w0o7kkm7.PDF.

Ley "Que declara estado de emergencia en todo territorio de la república del Paraguay ante la pandemia declarada por la organización mundial de la salud a causa del covid-19 o coronavirus y se establecen medidas administrativas, fiscales y financieras", N° 6524, 26 de marzo de 2020, <https://www.bacn.gov.py/archivos/9156/LEY6524.pdf>.

Resolución "Por la cual se aprueba el reglamento que establece los regímenes de certificación, control y promoción del uso de bioenergías provenientes de plantaciones forestales o bosques nativos manejados, para asegurar la sostenibilidad de estos recursos renovables dentro del territorio nacional," No. 933, 23 de junio de 2020, https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/resoluciones/RESOLUCION%20MOPC%20933_2020.pdf.

Ley "Que aprueba el presupuesto general de la nación para el ejercicio fiscal 2021", No. 6672, 9 de enero de 2021, <https://www.bacn.gov.py/archivos/9492/LEY%206672.pdf>.

Decreto "Que otorga garantía del estado paraguayo a obras de transmisión eléctrica bajo la modalidad de llave en mano", No. 5226, 13 de mayo de 2021, <https://www.ferrere.com/es/novedades/decreto-reglamentario-de-la-ley-6324-19-que-otorga-garantia-del-estado-paraguayo-a-obras-de-transmision-electrica-bajo-la-modali>.

Ley " Destina los recursos en concepto de responsabilidad social empresarial, socioambiental y cualquier otro fondo social, sea cual sea su denominación, de las entidades binacionales Itaipu y Yacyreta correspondientes al lado paraguayo, sean utilizados íntegramente para la compra de insumos médicos, materiales de bioseguridad para el personal de blanco, infraestructura hospitalaria y protección social mientras dure la pandemia del COVID-19," No. 6729, 25 de mayo de 2021, <https://www.bacn.gov.py/archivos/9566/Ley%206729.pdf>.



ccsi.columbia.edu

Columbia Center on
Sustainable Investment

Jerome Greene Hall
435 West 116th Street
New York, NY 10027
Phone: +1 (212) 854-1830
Email: ccsi@law.columbia.edu

Cita Sugerida

Columbia Center on Sustainable Investment (CCSI), Quadracci Sustainable Engineering Lab at Columbia University y Centro de Recursos Naturales, Energía y Desarrollo (CRECE). *Evaluación y Planificación del Sector Energético del Paraguay: Vías de Descarbonización*. Nueva York: CCSI, noviembre de 2021, <http://ccsi.columbia.edu/content/paraguay-energy>.

Published by the Columbia Center on Sustainable Investment, a leading applied research center and forum dedicated to the study, discussion and practice of sustainable international investment.