

OPCIONES DE ESTRATEGIA ENERGÉTICA URUGUAYA A 2050 – PROSPECCIÓN DE ESCENARIOS DECISIVOS

Enrique Morales Rodríguez*

RESUMEN

En los números seis y siete de la Revista Estrategia, analizamos algunos factores necesarios para establecer una estrategia energética-eléctrica del Uruguay a 2050, resultando como más adecuadas al escenario socioeconómico más deseable y demográfico más probable descrito en esas publicaciones, dos opciones estratégicas. En el número ocho, delineamos algunas consideraciones clave para un programa nucleoelectrico uruguayo, que surgía como una de ellas. Todas las líneas analizadas enfrentaban potenciales obstáculos y su viabilidad dependía de eventuales escenarios internos y externos. Buscando fijar pautas para una estrategia energética uruguaya viable a largo plazo, en este artículo se consideran algunos Hechos Portadores de Futuro (HPF) ocurridos, junto con otros posibles, decisivos para la viabilidad y resolución de necesidades asociadas de las diversas líneas estratégicas.

Palabras clave: estrategia energética, Uruguay 2050, hechos portadores de futuro, escenarios internos, escenarios externos.

ABSTRACT

In numbers six and seven of the “Revista Estrategia”, we analyzed some factors necessary to establish a 2050 Uruguay energy-electricity strategy, resulting in two strategic options as the most appropriate ones for the most desirable socioeconomic scenario and most likely to occur from a demographical perspective, as it was described in those articles. In number eight, we outlined some key considerations for a Uruguayan nuclear power program, which emerged as one such option. All the lines analyzed faced potential obstacles and their viability depended on possible internal and external scenarios. Seeking to establish guidelines for a viable Uruguayan energy strategy in the long term, this

* Ingeniero Químico y Químico Farmacéutico. Especializado en Tecnología Nuclear y Seguridad Nuclear en Argentina. Se desempeñó en la actividad privada, en las áreas de minería, irradiación ionizante y otras. Docente e Investigador en Facultades de Química e Ingeniería de la Universidad de la República (Uruguay). Asesor desde 2010 de la Autoridad Reguladora Nacional en Radio protección del Ministerio de Industria, Energía y Minería. Docente del C.A.L.E.N. (Ciencia y Tecnología) desde 2014. Correo electrónico: ef_morales@hotmail.com.

article analyzes some Future Carrier Events (HPF) occurred, along with others that may occur and that are decisive for the viability of the various strategic options and to solve their associated needs.

Keywords: energy strategy, Uruguay 2050, future-oriented events, internal scenarios, external scenarios.

Introducción

En artículos presentados en los números seis y siete de la Revista Estrategia, mencionamos la importancia del suministro energético-eléctrico para lograr los objetivos fundamentales del Estado, así como diversas modalidades de generación eléctrica para establecer una estrategia energética con horizonte temporal en el año 2050. Ante el permanente crecimiento de la demanda eléctrica, se manejaron escenarios de uso predominante de tres posibles medios de generación (Morales, 2019, pp. 64-66, 2020, p. 89), las que para este trabajo re-denominaremos como opciones térmica, renovable y nuclear, para evitar confusiones con los escenarios del ambiente externo e interno en que deberá enmarcarse la estrategia energética y que serán el eje del presente artículo. Se resumieron en dichos trabajos fortalezas y debilidades de nuestro país y oportunidades y amenazas externas para la aplicación de las diversas formas de generación. También se delinearon obstáculos previsible, especialmente en el mediano (desde 2030) y largo plazo, que se preveía surgirían en cada caso. Para la opción térmica, el posible desbalance nacional de divisas por importación de combustibles y las emisiones de efecto invernadero implica un problema insalvable o muy complejo; para la alternativa renovable, se preveía como ineludible la necesidad de garantizar intercambios energéticos con países vecinos o de contar con instalaciones de almacenamiento energético. Para la opción nuclear, encontramos que, aspectos técnico-económicos relativos a la instalación y mantenimiento de una central nuclear, las necesidades de garantizar el suministro de insumos esenciales y de la adecuada gestión de los residuos nucleares podían resultar muy dificultosas para un país como el nuestro. En ciertos escenarios externos e internos señalados, algunas de las complejidades citadas podían ser resueltas, lo que podía hacer, en los respectivos supuestos, estratégicamente favorable el uso de alguna de las diversas líneas citadas, aunque se adelantó que muy difícilmente la generación térmica fuera favorable para Uruguay en el largo plazo. No se pudieron establecer probabilidades para los respectivos escenarios, por existir muchas incertezas de los ámbitos externo e interno. En

el número ocho de la Revista Estrategia, se analizó la posibilidad de contar con una central nuclear, partiendo de la hipótesis de que se la considerara imprescindible y con decisión firme de incorporarla a la política energética, buscando delinear una estrategia para el uso exitoso de esta fuente que presenta muchas complejidades, en especial para un país como Uruguay. Estudiando las posibles dificultades, se estableció (Morales., 2021, p. 18) que un contexto favorable para la generación nuclear, tenía como presupuesto, un escenario de amplia cooperación internacional y/o regional.

Resumiendo la situación, de los trabajos anteriores mencionados surge que para llegar a ser seleccionadas como opción estratégica en el largo plazo todas las fuentes de generación estudiadas presentan condicionantes. No se ha podido aún definir cuáles de éstas podrían ser efectivamente resueltas en el futuro.

En el presente artículo, tomaremos como necesidad de consumo eléctrico uruguayo a 2050, el de 18.500 GW*h/año, estimado para una población de 3:700.000 habitantes y un consumo per cápita de 5.000 kW*hr/año, resultante del logro de un desarrollo socioeconómico generalizado (Morales 2019, p. 63). Sobre esta base, procuraremos describir ciertos HPF sucedidos recientemente, junto con algunos otros previsibles, todos los cuales tendrían gran incidencia para la resolución o no de las condicionantes de cada caso, para responder a esta demanda con las diversas líneas estratégicas. La influencia de estos (HPF) asumidos como posibles, adicionada a las de otros ya sucedidos, pueden, en su caso, facilitar la resolución de obstáculos o hacerlos insalvables. El análisis de la realidad en el futuro a corto plazo, verificando la ocurrencia o no de los citados HPF, permitiría entonces una prospección de los escenarios en que cada opción estratégica resultara viable y favorable, sobre la base de probabilidades bastante definidas, lo que permitiría el establecimiento de una estrategia energética firme a mediano y largo plazo.

Análisis de HPF recientemente ocurridos

En la evaluación de viabilidad y conveniencia para responder al consumo energético en el escenario socioeconómico deseable previsto de las diversas opciones mencionadas, serán HPF de distinta naturaleza y pertenecientes a diversos ámbitos los que tendrán importancia. En opinión del autor, ya han sucedido algunos HPF importantes para una estrategia energética uruguayo, algunos recientemente y otros ya desde hace algunos años. A continuación, resumiremos estos HPF acaecidos ya, agrupados según la línea sobre la que tendrán influencia.

Opción Térmica

Esta modalidad de generación traería aparejado un gran consumo de combustibles fósiles –que se presuponen importados– para generación termoeléctrica. Es decir que, todo lo que afecte el balance de divisas a nivel nacional que implique estas importaciones, será decisivo para la viabilidad de esta modalidad (Morales, 2019, pp. 59-64; 2020, pp. 90-92). Algunos HPF ocurridos tendrán gran influencia sobre este punto y, en opinión del autor, de manera desfavorable para Uruguay en la mayoría de los casos. Por otra parte, el uso masivo de combustibles fósiles desde hace dos siglos ha creado y sigue creando impactos ambientales globales, de los que ya también han surgido HPF muy significativos tanto a nivel del mundo como nacional. Se enumeran todos los citados HPF, con una breve descripción de cada uno.

Condicionantes de la futura oferta de petróleo y gas natural

Se ha citado que la pandemia de COVID -19 trajo un retraso en las inversiones mundiales relativas a la extracción y distribución de petróleo y gas, lo que puede tener una importante influencia en la oferta futura de dichos insumos (Morales, 2021, p. 8).

Restricciones globales al futuro uso y/o producción de petróleo y gas

El uso continuado a nivel mundial de carbón, petróleo y gas natural, desde el inicio de la Revolución Industrial, provocó el vertido a la atmósfera de enormes cantidades de anhídrido carbónico (CO₂), principal causante del calentamiento global, junto con otras emisiones (SO₂, NOx¹, hollín y otros) derivadas de la quema de combustibles, que también tienen importantes efectos invernadero a nivel global y locales sobre la salud pública. La magnitud actual de estos impactos ambientales y, sobre todo, los posibles a futuro, ha llevado a que se celebrara en 2015 el Acuerdo de París, por el que todos los países del mundo –incluyendo a Uruguay, que ratificó ese Acuerdo– se comprometen a limitar sus emisiones de gases efecto invernadero de manera de evitar un aumento de 2 °C en la temperatura media global, y procurar que no supere 1,5 °C. Se han revisado estimaciones de consumo efectivo de petróleo y gas en un escenario de cumplimiento parcial del acuerdo, relativamente factible (Morales, 2020, pp. 90-91). En varios ámbitos se ha

¹ SO₂: simbología química para el anhídrido sulfuroso originado en la quema de ciertos combustibles como carbón de piedra y algunos derivados de petróleo; sustancia asociada a la lluvia ácida. NOx: expresión química que engloba los diversos óxidos de nitrógeno (N₂O, NO, NO₂) originados asimismo en la quema de dichos combustibles y con similar impacto ambiental.

mencionado que los consumos de carbón, petróleo y gas globales, difícilmente se reduzcan si no disminuye la producción de estos combustibles, ya que la abundancia de estas fuentes energéticas de uso fácil y bien conocido, las convierte en una opción tentadora, sobre todo para economías emergentes. En un escenario a 2050 –basado en el total cumplimiento del Acuerdo de París– delineado por la Agencia Internacional de Energía (IEA por su sigla en Inglés), la demanda de petróleo desciende un 4 % anual entre 2021 y 2050, mientras que no se explotan nuevos yacimientos, pero se mantiene la inversión en los actualmente explotados, lo que reduce la oferta de petróleo en 4,5 % anual (IEA, 2021, p. 101). Para el gas natural, la IEA prevé una tendencia similar, aunque con una demanda que descendería más lentamente. La evolución prevista de producción e inversiones en el sector petrolero/gasífero en este escenario, se muestra en las figuras 1 y 2. Según la IEA (2021), esta correlación entre oferta y demanda y la ausencia de inversiones a recuperar, conduciría a una disminución de precios del petróleo, que quedarían en el orden de 25 USD/barril en 2050.

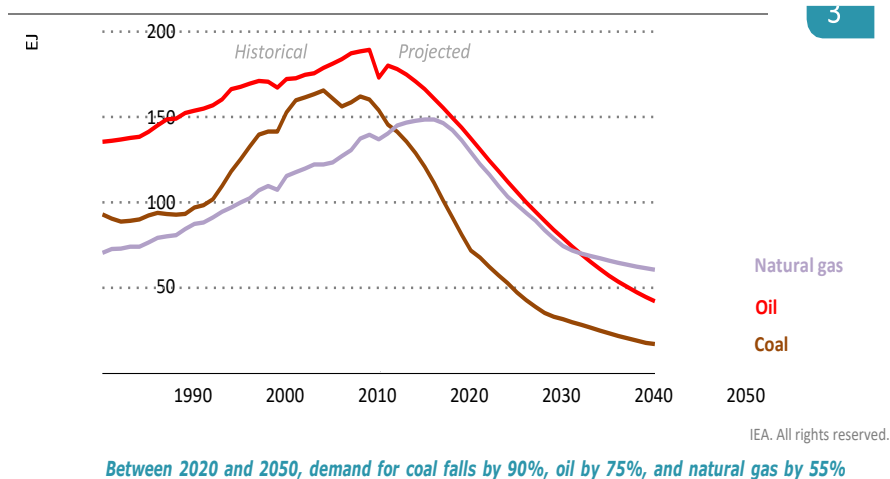
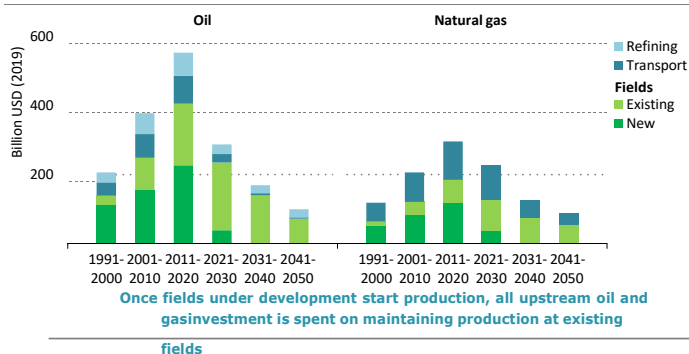


Figura 1. Proyecciones de producción de carbón, petróleo y gas natural en el mundo.

Fuente: © OECD/IEA 2021 Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, p.101. IEA.



Note: Investment in new fields in the 2021-2030 period is for projects that are already under construction or have been approved.

IEA. All rights reserved.

Figura 2. Proyecciones de inversión en suministro de petróleo y gas natural.

Fuente: © OECD/IEA 2021 Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector, p.103. IEA.

Sin perjuicio de que aún no haya pronósticos totalmente firmes, la existencia del Acuerdo de París, con ratificación casi total a nivel mundial, es un HPF que sin duda traerá restricciones en la oferta y demanda de combustibles fósiles a 2050.

Por otra parte, la ratificación del Acuerdo de París por Uruguay², es un presupuesto básico nacional, que en sí es un enorme obstáculo para la opción térmica, ya que ésta implicaría grandes aumentos en las emisiones de CO₂, en vez de reducciones, salvo medidas compensatorias.

Condicionantes del futuro balance de divisas uruguayo

Ya se mencionó que la importación de grandes volúmenes de combustibles fósiles, con su inherente egreso de moneda extranjera, podía resultar en un déficit nacional de divisas insostenible (Morales, 2012, pp. 21-22; 2019, p. 64; 2020, p. 92). Los precios futuros de petróleo y gas natural serán una condicionante decisiva a este respecto. De las seguras restricciones a la oferta y demanda globales a 2050, derivadas del HPF anterior, surgirán los precios futuros de los combustibles. La evolución concreta de este HPF entonces, resultará en otro HPF también de importancia crítica para la viabilidad de la opción térmica. Otros HPF pasibles de ocurrir a futuro, pueden agravar el citado déficit y/o agregar más efectos desfavorables; asimismo, en ciertos escenarios, muchos problemas asociados a la opción térmica podrían ser

² Ley N° 19.439, Aprobación del Acuerdo de París sobre cambio climático, del 24 de octubre de 2016.

superados. Véase más adelante (pp. 12 – 15) una descripción de estos diversos HPF. Del análisis ponderado de éstos, combinado con las previsiones recién consideradas, se podrá concluir acerca de la viabilidad de la generación térmica preponderante.

Opción Renovable

La aplicación de esta línea estratégica requiere, ya desde ahora, pero mucho más desde 2030 especialmente, la posibilidad garantizada de realizar intercambios eléctricos –en ambos sentidos– con Argentina y Brasil, en condiciones económicas favorables para Uruguay (Morales, 2019, pp. 63-65; 2020, pp. 94-97). En su defecto, sería necesario contar con infraestructura de almacenamiento energético para gestionar adecuadamente la generación eólica y solar inherentemente variable. Ciertos hechos ya ocurridos pueden influir sobre la resolución de estas necesidades de la opción renovable, o ser un indicador sobre la posibilidad de resolverlas a futuro, por lo que se consideran HPF. A continuación, se resumen estos HPF.

Convenios internacionales ya establecidos de intercambio

Desde hace años, están vigentes acuerdos entre Uruguay y sus países limítrofes, que dan marco jurídico para intercambios y comercio de energía eléctrica entre estos Estados. A continuación se transcribe parte de estos acuerdos internacionales, junto con un análisis del autor de algunas disposiciones que pueden ser relevantes.

El Acuerdo Marco de Interconexión Energética entre Uruguay y Brasil fue ratificado por la ley N° 18160, Aprobación de Acuerdo Internacional, Energía Eléctrica, publicada el 8 de agosto de 2007. Respecto a las modalidades de intercambio energético posibles entre ambos países, el Acuerdo Marco prevé las siguientes posibilidades:

- “a) contratación de potencia firme con energía asociada,
- b) contratación de abastecimiento firme de energía,
- c) intercambios interrumpibles de optimización,
- d) intercambios interrumpibles de emergencia” (Uruguay, 2007, artículo 3).

Se puede apreciar que los contratos de suministro de potencia o energía, si no son firmes³ serían pasibles de tenerse por “interrumpibles”. Por

³ Implica garantizar a la contraparte la disponibilidad de una potencia, según demanda o fija por tiempo convenido o suministrar una determinada cantidad de energía eléctrica, en forma estable.

la naturaleza inherentemente variable de la generación eólica y solar, los excedentes de éstas difícilmente sean considerados firmes, a efectos de la exportación a Brasil con fines de mantener estabilidad de la red, salvo que se transfirieran complementadas con energía firme, por ejemplo, térmica; esta necesidad podría ponernos en las condicionantes de la opción térmica, como mínimo, en lo referido a emisiones de carbono. Los factores político, económico y científico-tecnológico uruguayos deberían decidir si estas condicionantes son aceptables o si sería posible una reformulación del Acuerdo-Marco que facilitara la gestión de intercambios energéticos.

Existe también un acuerdo de interconexión eléctrica entre Argentina y Uruguay, ratificado en Uruguay por el Decreto-Ley 15509 publicado el 19 de enero de 1984. En su artículo 2c), las partes acuerdan realizar “Absorción recíproca de eventuales excedentes de energía eléctrica, realizada de común acuerdo entre ambas Partes” (Uruguay, 1984, Capítulo I, artículo 2c). La exportación de los excedentes de generación variable que surjan –para mantener estabilidad de la red uruguaya– a Argentina entonces, también dependería de llegar en cada caso a un común acuerdo. Por otra parte, el artículo 32g) de dicho acuerdo de interconexión, refiere a:

g) Suministro de potencia garantida.

Se define como [sic] el servicio que una Parte presta a la otra garantizando, a su pedido, una determinada potencia por un lapso preestablecido. En cada caso particular se acordarán los términos del intercambio y el régimen de penalización. (Uruguay, 1984, Capítulo I, artículo 32g)

Para eventuales importaciones de energía desde Argentina para cubrir los déficits previstos luego de 2030 (Morales, 2019, p. 65), es posible que surjan condicionantes como las ya mencionadas para intercambios con Brasil.

Para hacer viable la opción renovable, deberían realizarse permanentemente exportaciones de excedentes de generación y a partir de 2030, o antes, también importaciones para cubrir los déficits de potencia que arroje la generación hidroeléctrica (Morales, 2019, p. 65). Los intercambios en ambos sentidos, como surge de los acuerdos vigentes analizados, deberán ser acordados con las autoridades de los países vecinos, fijando asimismo las respectivas condiciones. Las exportaciones de excedentes podrían llegar a ser interrumpidas, requerir complementos térmicos o retribuirse con precios reducidos, mientras que las importaciones seguramente se contratarían bajo las modalidades de intercambio firme, lo que puede asociarlas a precios

significativos o inseguridades de suministro. La combinación de ambos supuestos, eventualmente puede llevar a que surjan importantes vulnerabilidades económicas (Morales, 2020, p. 96-98). Los factores político, económico y científico-tecnológico uruguayos deberían analizar conjuntamente la eventual importancia de estas vulnerabilidades y la factibilidad de impulsar modificaciones a los acuerdos internacionales, para eliminarlas o mitigarlas.

Resumiendo, la opción renovable, requeriría condiciones especiales para el intercambio energético internacional con países limítrofes. Los acuerdos hoy vigentes, son HPF en que dichas circunstancias pueden ocurrir, pero no tenerse por garantidas, menos a un horizonte temporal tan amplio como 2050. Para un análisis prospectivo de estos requisitos básicos de la generación renovable, se han analizado los antecedentes sobre intercambios energéticos de los diez últimos años.

Antecedentes de intercambios energéticos internacionales

Se ha citado que hasta 2017 el crecimiento de la generación eólica y solar en Uruguay vino acompañado de una creciente exportación de excedentes energéticos, necesaria para mantener la estabilidad de la red (Morales, 2020, p. 94). Este comportamiento de los intercambios se mantuvo durante 2018 y 2019, registrándose en este último año el pico máximo de ventas de electricidad, principalmente hacia Argentina (Administración del Mercado Eléctrico (ADME), 2020, p. 15). En 2020, surgen modificaciones en dicha tendencia: los volúmenes de energía entregados a países vecinos caen abruptamente y se registran importaciones (principalmente desde Argentina) significativas, que en 2020 fueron equivalentes a casi la mitad de las exportaciones. La disminuida generación hidroeléctrica, debida a la sequía, explica esta situación. También durante 2020 se debió recurrir como complemento a generación termoeléctrica, que representó un 6,3 % del total (ADME, 2020, p. 10). La evolución de las exportaciones/importaciones uruguayas de electricidad en los últimos años, se puede apreciar en la figura 3, resaltando el cambio de tendencia en 2020.

Durante el año 2021 (hasta el 1 de setiembre) en que la generación hidroeléctrica tiene una participación similar a 2020, las exportaciones – dirigidas principalmente a Brasil– ya superan las de 2020 y las importaciones son apenas un 0,6 % de la energía generada (ADME, 2021), pero en contrapartida, la generación termoeléctrica ha significado un 16,8 % del total. Estas situaciones, pueden considerarse indicadores que anticipan lo que ya se ha citado que ocurriría luego de 2030, cuando la demanda eléctrica supere

totalmente a la capacidad hidroeléctrica: la necesidad permanente de gestionar la generación renovable mediante intercambios internacionales en ambos sentidos, almacenamiento energético y/o recurrir a la opción térmica (Morales, 2017, p. 9, 2019, p. 65, 2020, pp. 95-98). Esta última sería necesaria, ya para cubrir déficits de generación como, eventualmente, para complementar la exportación de excedentes variables, convirtiéndolos en firmes y así asegurar su absorción por los países vecinos, como se mencionó. En la perspectiva de la opción renovable, estas necesidades deben ser resueltas o, en su defecto, lograr una gestión de la demanda eléctrica que se adapte a una generación preponderantemente renovable, para lo que ya existen planes, que se describen y analizan a continuación.

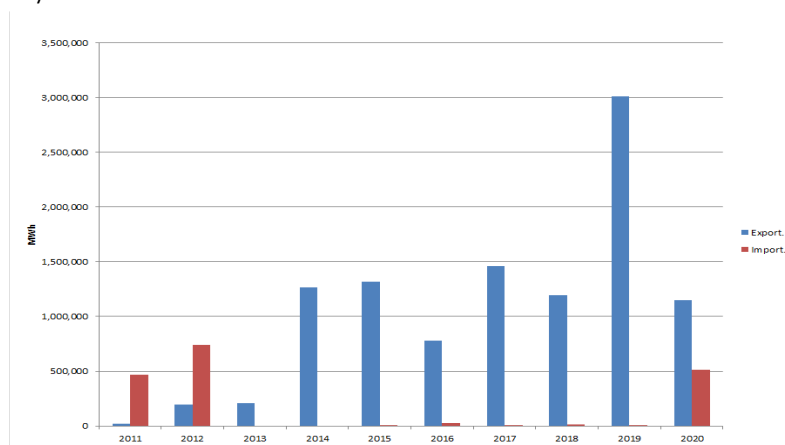


Figura 3. Evolución de los intercambios eléctricos de Uruguay con países vecinos 2011-2020.

Fuente: Informe Anual 2020 de la Administración del Mercado Eléctrico (ADME, 2020).

Planes vigentes de gestión de la demanda eléctrica nacional

En 2021, la Administración de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) lanzó reformas a su “Plan Inteligente”, por el que los consumidores tienen dos o tres tarifas durante el día, siendo una o dos de ellas más económicas (horarios *fuera de punta, valle o llano*) que la tarifa de *punta* (4 horas consecutivas a elección, de 17 a 23 h) (UTE, 2021). Las horas fuera de punta, muchas veces coinciden con períodos en que hay excedentes de generación renovable variable, y si logran trasladar gran parte de su gasto energético a estos períodos, los consumidores pueden reducir su gasto energético. La vigencia de este plan en su formato actual, constituye un HPF cuyo impacto estratégico puede ser considerable, pues de lograrse que gran parte de los períodos de mayor

demanda energética coincidan con los de mayor generación nacional, no existirían las vulnerabilidades antes mencionadas para exportación de excedentes, ni necesidad de importar electricidad en ciertos períodos, ni la debilidad de tener que recurrir eventualmente al *curtailment*⁴ de algunas usinas de generación variable. No se puede prever con certeza el máximo alcance que tendrá este “corrimiento de la demanda”, ya que no hay antecedentes nacionales o internacionales. Sin embargo, se han hecho modelos que intentan pronosticarlo, como los de la IEA, para diversos escenarios y regiones. Para Estados Unidos de América, la IEA (2016) analiza un escenario a 2040 en que el 35 % de la generación sea eólica/solar y con almacenamiento energético en baterías, de vehículos, entre otros. El modelo prevé que, en noches de verano se pueda trasladar el 23 % de la demanda a otros horarios, mientras que en mañanas primaverales, este potencial corrimiento llegaría al 16 %. Este traslado de la demanda, podría recuperar anualmente, un 25 % de la energía que de otra manera se debería recortar por *curtailment*. La misma referencia analiza posibles situaciones similares para otras regiones, y en algunas, como Europa, pueden tenerse resultados similares (IEA 2016, pp. 530-535). Se debería analizar el impacto real que el traslado de la demanda pueda tener en Uruguay, de acuerdo a sus propias características futuras climáticas y sociales⁵, para definir en qué medida, la opción renovable necesitaría sustentarse en las medidas de intercambio y/o almacenamiento antes mencionadas.

Análisis de HPF que pueden ocurrir en el futuro

Diversos HPF que pueden ocurrir o no, en el corto y mediano plazo, tendrán influencia en distintos ámbitos, tanto internos como externos, y, por tanto, sobre distintas opciones estratégicas. Resumiremos a continuación algunos de estos eventuales HPF, nuevamente agrupados según la línea sobre la que influirán.

⁴ *Curtilment*: término en inglés para *reducción, cercenamiento*. En este caso se aplica al cercenamiento de la producción de ciertas usinas de generación variable. Su aplicación permite gestionar adecuadamente la red, pero conlleva el pago de la energía cercenada y la necesidad de sustituirla por otro tipo de generación, con sus costos e impactos ambientales, (Morales, 2020, p. 95).

⁵ Estas incluyen hábitos y necesidades de consumo (entre ellos una futura flota de autos eléctricos, etc.), así como disponibilidad masiva de recursos tecnológicos, como puede ser la denominada *internet de las cosas*, a efectos de que, por ejemplo, ciertos artefactos electrodomésticos adecuen su funcionamiento a horarios programados.

Opción Térmica

Ya se mencionaron los impactos ambientales globales de esta fuente de generación. En noviembre de 2021 se realizó una nueva Conferencia de Partes de la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, denominada COP26, en Glasgow (GDS-UK, 2021), en que una gran diversidad de países que conjuntamente representan el 90 % de la economía mundial, presentaron compromisos para lograr neutralidad de carbono⁶. Lograr efectivamente este objetivo es clave para el mundo, ya que según informes relevantes (Rojelg, 2018, pp. 113-117), reafirmados recientemente (IPCC, 2021, p. 106), para lograr los objetivos del Acuerdo de París en supuestos socialmente deseables⁷, dicha reducción debe comenzar en esta década y ser sostenida, como surge de las figuras 4 y 5.

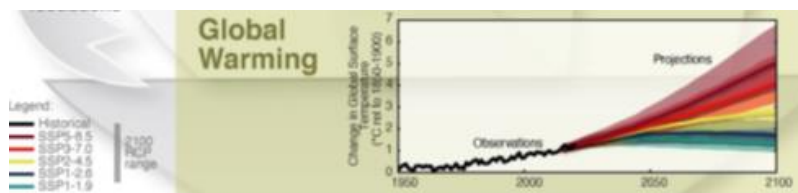


Figura 4. Proyecciones de evolución hasta 2100 del cambio en temperaturas en la superficie de la Tierra, en diversos escenarios socioeconómicos y de emisiones de efecto invernadero. Se observa que la limitación del calentamiento global a 1,5° C, objetivo máximo del Acuerdo de París, se lograría en el escenario SSP1 – 1.9.

Fuente: IPCC, 2021.

De posteriores instancias como la COP26 pueden surgir HPF relevantes para la estrategia uruguaya, como por ejemplo, restricciones a la demanda y/u oferta de petróleo y gas, condicionando sus precios a niveles como los previstos

⁶ *Neutralidad de carbono*: situación en que las emisiones (industriales, vehiculares, etc.) de CO₂ que surgen por quema de combustibles dentro de un país o región, son total y permanentemente compensadas por la captura de dichas emisiones por procesos naturales de fotosíntesis en bosques y/o por procesos artificiales de captura y almacenamiento del CO₂.

⁷ El informe de IPCC de agosto 2021 –aún en proceso de edición y revisión– prevé hacia el futuro diversos escenarios socioeconómicos (SSP1, SSP2, SSP3, SSP5). El escenario SSP1 es el que prevé mayor desarrollo humano global, mientras que el SSP5 prevé el menor progreso en el desarrollo humano y en los SSP2 y SSP3 se hacen supuestos intermedios. El uso de combustibles fósiles y las correspondientes emisiones anuales de efecto invernadero, varían mucho entre los diversos escenarios, como se puede apreciar en la Fig. 5, tomada de la misma referencia. La línea verde en Fig. 5, corresponde a la trayectoria del SSP1 - 1.9, e implica una caída en picada de estas emisiones, antes de 2025.

en la propuesta de la Agencia Internacional de Energía para reducir las emisiones de efecto invernadero (IEA, 2021, p. 101) o a otros niveles, lo que puede conllevar oportunidades o amenazas externas para la generación eléctrica por esta vía. También puede acordarse a futuro, un precio universal al carbón, o sea un monto a pagar por quien use combustibles fósiles vertiendo emisiones a la atmósfera⁸. De ser este precio al carbono coercitivo globalmente, impondría naturalmente una fuerte debilidad económica para la opción térmica.

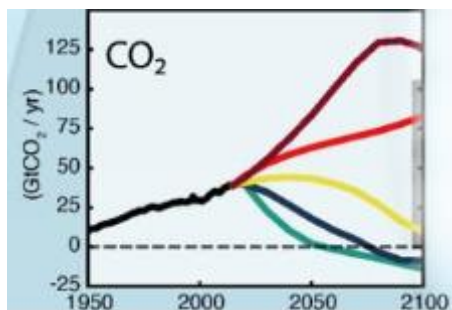


Figura 5. Proyecciones de evolución hasta 2100 de las emisiones de CO₂, en los mismos escenarios socioeconómicos de la figura 4. La línea verde corresponde al escenario SSP1 – 1.9.

Fuente: IPCC, 2021.

Otros factores que pueden influir el balance de divisas en la opción térmica

En el supuesto de que no haya restricciones coercitivas sobre la oferta y demanda de combustibles fósiles, pero que los países mayores consumidores restrinjan voluntariamente su uso, esto puede redundar en un descenso importante de algunos precios. Posiblemente el precio del carbón mineral, que tiene gran oferta mundial, evolucionaría a la baja. Así, podría ocurrir que la opción térmica usando carbón como combustible, fuera viable económicamente para Uruguay.

No se debe olvidar que en la estructura económica uruguaya actual, las exportaciones de carnes aportan mucho al ingreso nacional de divisas. Este ingreso representó el 20 % del total de exportaciones en 2020 (Uruguay XXI, 2021, p. 4, Cuadro 1). Ciertas investigaciones con importantes avances recientes, buscan el desarrollo de “carnes artificiales” (Kadim, 2015, p. 222). Personajes y grupos de inversión con alto poder financiero las consideran de

⁸ Expresado, por ejemplo, en dólares por tonelada de CO₂ emitida.

interés, lo que aumenta sus probabilidades de éxito (Temple, 2021). En caso de que se llegue prontamente a una amplia sustitución global de carnes animales por estos productos, sería un HPF con efecto muy fuerte en el balance nacional de divisas. Si bien Uruguay tiene potencial para reconvertir su estructura exportadora, seguramente habría largos períodos transicionales durante los cuales este impacto negativo, sumado al de la opción térmica, haría esta opción, más que insostenible, inabordable.

Otros condicionantes de la opción térmica

Además de los aspectos económicos, en la medida en que Uruguay ratificó el Acuerdo de París, debe, como presupuesto básico, reducir efectivamente sus emisiones de CO₂, lo que en esta opción no sería posible, salvo medidas compensatorias. Algunas de éstas serían, por ejemplo, forestar grandes áreas o recurrir a procesos de CCS⁹. Ya se señaló en que estas decisiones serán muy difíciles de implementar en Uruguay (Morales, 2020, pp. 92-93). El eventual uso de carbón tendría un impacto ambiental y en la salud pública mucho mayor aún y las medidas necesarias serían mucho más exigentes.

Están en desarrollo otros medios técnicos (Por ejemplo: CCU¹⁰) para compensar las emisiones, en los que el CO₂ se recupera de los humos y se le da un uso técnico útil (IEA, 2020, pp. 93-97). De Conferencias de Partes subsiguientes a la COP26, pueden surgir acuerdos globales por los que países industrializados presten medios técnicos/financieros o cesión gratuita de patentes a otros países para actividades de CCU. Este eventual HPF podría permitir a países como Uruguay recurrir a la opción térmica sin desviarse de sus compromisos internacionales.

Por otra parte, en caso de que el parque automotor uruguayo se convirtiera en gran escala a vehículos eléctricos o de combustión alimentados por hidrógeno (UTE, julio 2021), quedarían compensadas las emisiones

⁹ CCS: acrónimo de *Carbon Capture and Storage*, expresión en inglés para un proceso en el que los humos de combustión no son vertidos a la atmósfera sino almacenados permanentemente en formaciones geológicas apropiadas, (Morales, 2020, pp. 92-93).

¹⁰ CCU: acrónimo de *Carbon Capture and Use*, expresión en inglés para *Captura y Uso de Carbono*, procesos en que el CO₂ de humos de combustión de grandes instalaciones (usinas termoeléctricas, fábricas) es recuperado y usado en otro proceso industrial, como la manufactura de materiales de construcción o síntesis de ciertos productos químicos como metanol, entre otros.

aumentadas de las usinas termoeléctricas y seguramente también el balance de divisas se equilibraría; consideraciones al respecto se exponen en el Anexo I.

De no ocurrir HPF como estos últimos y los que podrían resolver las debilidades económicas, en opinión del autor la opción térmica seguiría siendo inviable para Uruguay. Los factores político, económico y científico-tecnológico del poder uruguayo deberían trabajar coordinadamente para prever los escenarios y sus probabilidades con la mayor anticipación posible.

Opción Renewable

Ésta depende fuertemente de la posibilidad de garantizar intercambios energéticos con países vecinos, para lo que encontramos antecedentes desfavorables desde 2020. A este respecto, es importante también recordar que los programas nucleares argentino y brasileño, establecidos ya desde hace años, prevén a futuro la instalación de importantes centrales nucleares, seguramente integradas a las redes compartidas con Uruguay. En Argentina, existen planes serios para la construcción de Atucha III (Nucleoeléctrica Argentina S.A., 2021), que sumaría su potencia de 1200 MWe a la de las centrales Atucha I (362 MWe) y II (745 MWe) en la zona de Zárate (provincia de Buenos Aires) y conectadas a través de Salto Grande con la red uruguaya. En 2008, el programa nuclear brasileño esperaba incorporar en la región Sud-Este –interconectada con Uruguay a través de las estaciones convertoras de frecuencia de Melo y Rivera– dos nuevas centrales nucleares de ≈ 1000 MWe, en 2023 y 2025 (dos Santos Guimaraes, 2010, pp. 12-13). Es obvio que esta previsión tiene hoy retrasos importantes, pero la existencia de esta meta junto con la argentina de Atucha III, pueden ser HPF de fuertes implicancias para Uruguay. En efecto, el agregado de tales niveles de potencia de base a las redes vecinas, puede dificultar mucho la absorción por estas de los excedentes intermitentes de generación variable uruguaya.

En caso de contarse con infraestructura adecuada para almacenamiento energético en el país, no existiría dependencia de los países vecinos. Una posibilidad sería realizar esta gestión energética por medio de centrales hidroeléctricas reversibles para lo que, de hecho, existen proyecciones. Se citó anteriormente (Morales, 2020, p. 97) que sería necesario evaluar con especial detalle la viabilidad económica, así como la vulnerabilidad a sequías, de estas centrales reversibles.

Se maneja ya por UTE la posibilidad de almacenar excedentes energéticos en baterías¹¹, previéndose un primer proyecto piloto en la zona de Valentines y como se mencionó antes, también en forma de hidrógeno (UTE, 2021, junio y julio). En el Anexo I se analizan las implicancias que pueden tener para la estrategia energética uruguaya estas opciones, simultáneamente al uso masivo o no, de baterías e hidrógeno a nivel global.

De todo lo anterior resulta que los HPF que garanticen ciertos intercambios energéticos, pueden convertir esta opción en la más favorable para nuestro país; otros posibles HPF pueden, por el contrario, hacer prohibitivos dichas transferencias de energía hacia y desde el exterior. En su defecto, si el país contara a futuro con una infraestructura de almacenamiento energético a gran escala, también la opción renovable podría ser la de elección. A su vez, para contar en forma segura y gestionable con esta acumulación de electricidad, deberían ocurrir ciertos HPF en los ambientes interno y externo. En caso contrario, puede ser imposible o muy difícil para el país contar con la mencionada infraestructura de almacenamiento energético, lo que también haría inviable la alternativa renovable.

Opción Nuclear

Alguna instancia posterior a la COP26, puede acordar, como se dijo, la limitación de producción y uso de combustibles fósiles antes mencionada, con límites concretos globales y regionales, por ejemplo. En este caso, muchos países, especialmente aquellos en vías de desarrollo, necesitarán alternativas técnicas¹² para satisfacer sus crecientes demandas energéticas. Los acuerdos internacionales pueden reconocer el papel, entre otras, de la generación nuclear a efectos de cumplir los objetivos climáticos y comprometer permanentemente a los Estados que son actores clave de esta actividad a asistir a las regiones y/o subregiones en desarrollo en la concreción y gestión de sus

¹¹ Estas pueden ser grandes bancos de baterías que sean conectados directamente a la red para absorber excedentes y devolverlos a dicha red cuando hay déficit de generación variable, o asociadas a otras aplicaciones, como las baterías de vehículos eléctricos, con lo que los excedentes de generación eléctrica variable, permitirían evitar el uso de combustibles fósiles en otros sectores de actividad.

¹² Estas alternativas técnicas deberán ser fuentes de generación eléctrica que no aporten emisiones de CO₂ y que sean adecuadamente gestionables y seguras en su funcionamiento. Para sustituir la mayor parte de la generación térmica mundial actual, sin contar las necesidades futuras, con tecnologías ya conocidas, seguramente se necesitará una combinación global óptima de todas las fuentes bajas en carbono (Morales Rodríguez, 2019, p. 2).

respectivos programas en la materia. Este sería un HPF muy favorable para la opción nuclear en la estrategia uruguaya, ya que muchas limitaciones técnicas, financieras y de aseguramiento de suministros quedarían resueltas (Morales, 2021, pp. 17-18). En paralelo o aun independientemente de lo anterior, podría ocurrir que el MERCOSUR como bloque, se fijara objetivos comunes de emisiones de efecto invernadero (como lo ha hecho, por ejemplo, la Unión Europea) y para cumplirlos se proponga una importante expansión regional de la generación nucleoelectrica. En este caso, Argentina y Brasil¹³, podrían prestar importante asistencia a otros países del bloque como Uruguay, lo que también sería un HPF favorable a esta opción (Morales, 2021, p. 18).

Otro HPF posible de ocurrir y muy desfavorable para esta línea estratégica, sería que los principales actores¹⁴ decidan expandir sus programas nucleares sin ningún acuerdo que los comprometa a prestar asistencia a otros países. En este caso, países como Estados Unidos de América, Francia, China, Corea, Reino Unido, tendrían una enorme demanda interna de uranio enriquecido y combustibles terminados. Si la expansión llegara a comprometer las reservas de uranio de menor costo, seguramente la capacidad de reprocesamiento de combustibles quemados también sería exigida al máximo (Morales Rodríguez, 2019, pp. 3-4). Canadá también tendría gran demanda interna de agua pesada para sus reactores de uranio natural. Situación similar ocurriría inicialmente también en India, que además tendría grandes necesidades de uranio, posiblemente importado, aunque luego pasaría a consumir sus stocks de plutonio y más tarde sus propias reservas de torio, de acuerdo con su prevista transición al ciclo del torio (WNA Profiles, 2020). La incorporación o expansión de actividad nuclear en otros países emergentes, puede acelerar vertiginosamente algunas de estas demandas. Si los actores clave dieran prioridad –que es lo esperable– a sus necesidades domésticas, los suministros que puedan exportar a otros países podrían verse comprometidos, más aun tratándose de actores del tamaño de Uruguay. De acuerdo a lo descrito, estos obstáculos, eventualmente podrían surgir cualesquiera fueran las líneas que hubiera tomado nuestro país en distintos temas clave:

¹³ Dos actores con grandes capacidades en el área nuclear, aunque sin integrar el grupo de principales proveedores mundiales.

¹⁴ Canadá, China, República de Corea, Estados Unidos de América, Francia, India, Reino Unido, Federación Rusa producen la casi totalidad de reactores nucleares de potencia –sin contar algunos modelos SMR en desarrollo– actualmente en uso en el mundo, ya para uso propio o de terceros.

combustibles de uranio enriquecido o natural, reprocesamiento en terceros países o disposición final de combustibles quemados (Morales, 2021, pp. 10-13).

Pese a este desfavorable escenario, si en todo el mundo se expandiera la generación nucleoelectrónica, aun sin acuerdos de cooperación internacional preestablecidos, posiblemente habría una fuerte competencia de las empresas del área –públicas o privadas– de los Estados clave para exportar reactores. En ese contexto, alguna de estas empresas podría –con el respaldo de su Gobierno, que buscara expandir la actividad del sector– celebrar con Uruguay un contrato que incluyera la asistencia técnica, garantía de suministros, colaboración en gestión de residuos, necesarias para sustentar un programa nucleoelectrónico uruguayo. Si a nivel global, la industria nuclear contara con respaldo político y financiero para expandir su capacidad de generación casi 10 veces a 2050 (Morales Rodríguez, 2019, p. 4), podrían ocurrir ciertos HPF como este u otros favorables a esta opción para Uruguay.

Se concluye que la opción nuclear para Uruguay sería una alternativa compleja; ciertos escenarios externos –asociados a una amplia cooperación internacional para enfrentar el problema del cambio climático– pueden, sin embargo, facilitarla, mientras que otros –en que actores globales clave tengan políticas energéticas básicamente unilaterales– pueden acentuar más aún las dificultades.

Conclusiones

En el futuro a corto o mediano plazo, pueden ocurrir –mayormente a nivel global, regional y algunos a nivel nacional– Hechos Portadores de Futuro que aunados a otros internos y externos ya ocurridos, condicionen favorable o desfavorablemente las diversas opciones analizadas para la estrategia energética uruguaya a 2050; alguna o algunas de estas opciones se considerarán entonces viables y otras no. A nivel nacional, las previsiones del comercio exterior a futuro y su capacidad de sostener financieramente la opción térmica serán decisivas para la factibilidad de ésta; paralelamente sería imprescindible que Uruguay contara con medios técnicos para mitigar las emisiones de carbono. La viabilidad de la generación renovable preponderante con recursos exclusivamente propios, dependerá de la posibilidad social, técnica y económica de lograr recursos de gestión eléctrica como el almacenamiento energético o un manejo adaptado de la demanda eléctrica. De no contarse con estos recursos, serán decisivos para la opción renovable sucesos que ocurran a nivel regional –principalmente en los países vecinos– y su

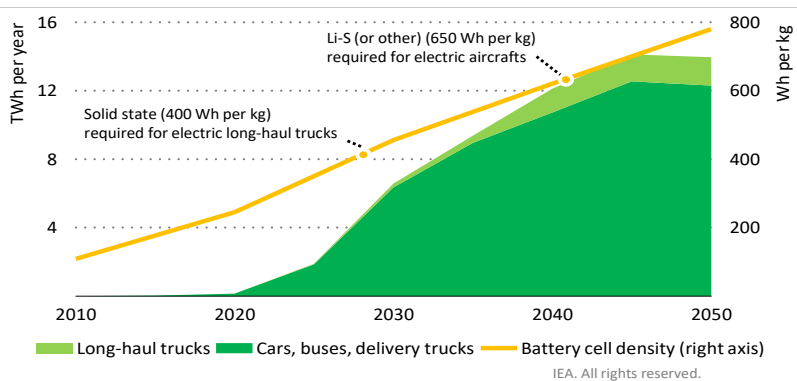
influencia sobre convenios de intercambio energético que Uruguay tenga o busque con dichos países. Eventuales acuerdos regionales de cooperación que surjan, también pueden llegar a favorecer la opción nuclear. En el ámbito internacional, el cambio climático avanza a pasos agigantados y los acuerdos globales a que se arrije para contenerlo serán decisivos para la estrategia energética uruguaya, como lo sería la eventualidad de que no se logren, lo que afectaría gravemente la salud pública, ambiente y economía mundiales. Según el formato que tengan tales acuerdos, pueden tanto favorecer como desfavorecer a todas las opciones, ya que influirán en los precios de combustibles fósiles, la disponibilidad global de opciones técnicas para CCS y/o CCU y de recursos técnicos/ naturales para almacenamiento energético en diversas formas, así como en la eventual garantía de suministros y asistencia requerida por la opción nuclear. Será de crítica importancia entonces, prestar atención a la evolución de los ambientes interno y externo y la probabilidad de ocurrencia o no de dichos HPF, a fin de delinear con la necesaria antelación la estrategia uruguaya definitiva y lograr que todas las decisiones se tomen dentro de plazos en que sea factible implementarlas.

ANEXO I – ANÁLISIS DE IMPLICANCIAS DEL USO MASIVO DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

En caso de que a nivel global se optara por una alta incorporación de renovables variables a la generación eléctrica para mitigar el cambio climático, se ha señalado que el almacenamiento de excedentes en baterías –con tecnologías actuales– enfrentaría una restricción absoluta por el previsible agotamiento de ciertas reservas minerales –ejemplo: cobalto– para baterías (Morales Rodríguez, 2019, p. 2). La dependencia de Uruguay para dichas materias primas crearía en el país problemas muy difíciles de suministro y/o precios de las baterías (fabricadas en el país o importadas), ya mucho antes que en el mundo su uso llegara al punto de agotamiento de estos recursos naturales. En (IEA, 2021, p. 198, Table A.3) se prevé para 2050 un escenario de alta penetración (más de 60 %) de renovables variables en generación a nivel global y almacenamiento de grandes volúmenes de excedentes eléctricos en baterías. De éstas, espera una fabricación mundial - sólo para las usadas en vehículos eléctricos- equivalente a una capacidad de más de 12 TWh/año 15 para 2050

¹⁵ TWh: acrónimo de *terawatt-hora*, unidad de energía que se usa para medir la capacidad de almacenamiento energético de una o un conjunto de baterías, como producto de su potencia en Watts (W), por el tiempo que dura la carga, en horas (h). Un terawatt-hora (TWh), equivale

(IEA, 2021, p. 72, Figure 2.17), pero previendo que estas evolucionen técnicamente, aumentando su densidad energética de unos 300 Wh/k 16 hoy a casi 800 Wh/k en 2050, como lo expone la gráfica que se reproduce en la Fig. 1.



Nearly 20 battery giga-factories open every year to 2030 to satisfy battery demand for electric cars in the NZE; higher density batteries are needed to electrify long-haul trucks

Notes: Li-S = lithium-sulphur battery; Wh per kg = Watt hours per kilogramme.

Figura 1. Previsión de evolución hasta 2050 de la capacidad global de fabricación de baterías y de las densidades energéticas de éstas.

Fuente: © OECD/IEA 2021 Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA.

Se ha previsto que podría ocurrir un agotamiento de las reservas mundiales de cobalto con un almacenamiento energético global en baterías de 15 TWh, con la densidad actual de 300 Wh/k (Morales Rodríguez, 2017, p. 7, 2019, p. 2). De concretarse la previsión de la IEA mencionada, sería un HPF que podría hacer viable a largo plazo la opción renovable, tanto a nivel de Uruguay como global. En caso de no ocurrir este HPF, en opinión del autor, como se señaló, el uso masivo de generación renovable gestionada con baterías tendría una fuerte debilidad estructural, salvo que se realizara solo en Uruguay y pocos países más, manteniendo la demanda global de materias primas para baterías en un nivel manejable, aunque en este caso, también se debería evaluar la futura oferta.

a 10^{12} watt-hora (Wh).

¹⁶ *Densidad energética*: corresponde a la máxima cantidad de energía que se puede almacenar respecto al peso del dispositivo. Así 1 Wh/k, equivaldría a la capacidad de almacenar 1 Wh de en una batería que pesa 1 k.

La opción de almacenar excedentes energéticos de la generación renovable variable como hidrógeno¹⁷ y luego aprovechar este hidrógeno como vector energético, ha sido considerada en el Proyecto H2U del MIEM y UTE (UTE, junio 2021; MIEM, 2021) que pretende usar dicho hidrógeno como combustible para vehículos, incluyendo de carga pesada. El hidrógeno también podría alimentar usinas termoeléctricas en momentos de déficit eólico/solar. Existirían dificultades técnicas para el hidrógeno como vector energético a nivel masivo, referidas entre otras, a la eficiencia del ciclo termoeléctrico (Morales Rodríguez, 2012, pp. 27-28). Por otra parte, el uso de hidrógeno para combustión directa en vehículos pesados, requeriría que estos tuvieran una reserva suficiente para una autonomía razonable. Aquí también surgirían restricciones, debidas al gran peso de los tanques aptos para almacenar este gas a alta presión, lo que limitaría mucho la carga útil. Se ha estimado que, en un camión de 17 toneladas de carga útil, el peso de un tanque para contener una reserva de combustible equivalente a una actualmente habitual, como 200 litros de gasoil¹⁸, oscilaría entre 2 – 10 toneladas (Morales Rodríguez, 2019). Tanto en las usinas termoeléctricas como en los vehículos pesados alimentados con hidrógeno que funcionaran con celdas de combustible¹⁹, los problemas de eficiencia quedarían superados, ya que ésta es cercana al 100 % en este tipo de dispositivos, por lo que se podrían resolver muchas limitaciones.

Debe tenerse en cuenta que las celdas de combustible contienen significativas cantidades de metales preciosos como platino, típicamente 40 g en un vehículo liviano actual (MERCK, 2021). El uso masivo de vehículos livianos y pesados equipados con esta tecnología en todo el mundo, puede crear entonces un problema de suministro de metales, tal como el antes mencionado para las baterías. El autor ha realizado un análisis preliminar sobre este potencial problema.

Muchos autores se plantean escenarios para una anulación casi total del uso de combustibles fósiles en el transporte a nivel global; este escenario considera que los motores de vehículos livianos y pesados, desde ahora hasta 2050, se conviertan progresivamente a motores eléctricos, alimentados por

¹⁷ Obtenido por electrólisis de agua, usando para este proceso electricidad generada por fuentes renovables en períodos de sobreoferta.

¹⁸ El equivalente a esta reserva de gasoil serían unos 70 kilogramos de hidrógeno a alta presión.

¹⁹ Celda de combustible: dispositivo electroquímico en el cual el hidrógeno, en lugar de ser quemado, se combina con oxígeno en una especie de pila, convirtiendo eficientemente toda su energía química en eléctrica, la cual luego es usada como tal.

baterías o celdas del combustible (IEA, 2021, p. 134). Con estas últimas, para 2050, existen proyecciones de que funcionarían cerca del 10 % de los automotores livianos; y cerca del 30 % de los pesados (IEA, 2021, Fig. 3.23).

En base a esta previsión de la Agencia Internacional de Energía y el contenido típico mencionado de 40 g de platino, cálculos propios de este autor resultan en una necesidad de, como mínimo 10.000 toneladas (Tn) de platino para la mencionada conversión global del transporte. Las reservas mundiales totales de *elementos del grupo del platino*, como surge de la Tabla 1, han sido estimadas en unas 100.000 ton²⁰ (USGS, 2017, p. N29). El total necesario para la conversión parcial del transporte, equivaldría entonces como mínimo, a un porcentaje en el orden de 20 % de las reservas mundiales²¹. La producción global actual de platino es de menos de 200 Tn/año, por lo que una demanda de este nivel, a cubrir en apenas 30 años sería imposible con la capacidad minero-metalúrgica actual, salvo grandes inversiones en la minería y refinación de este metal, que aumenten exponencialmente la capacidad de producción anual. De superar la demanda a la oferta, durante ciertos períodos podrían ocurrir escasez e importantes aumentos en los precios de este metal. Sobre este último punto, debe tenerse en cuenta que, si bien en principio el volumen total demandado para la reconversión global del transporte se estima como bastante menor al de las reservas mundiales probadas (sin contar posibles ampliaciones), la producción actual de platino proviene hoy en un 90 % de dos países: Rusia y Sudáfrica (USGS, 2017, p. N28, Fig. N20). Actualmente se obtiene platino de reservas relativamente poco profundas (≈ 200 m) en Rusia, principalmente del depósito Noril'sk-Talnakh de Siberia y en Sudáfrica, en el Complejo Bushveld, el cual se ha operado a diversas profundidades, llegando hasta unos 2000 m en unos pocos puntos. La mayor parte de las reservas mundiales de platino se encuentra en depósitos subterráneos, que se extienden hasta profundidades de cerca de 6000 m. La explotación de yacimientos como Bushveld a profundidades mayores de 2000 m, presenta limitaciones técnicas que pueden llegar a ser críticas, como la alta temperatura de las rocas (USGS, 2017, p. N43). De ser necesario pasar a explotar estas reservas profundas, los costos y por tanto los precios del platino, pueden sufrir importantes alzas, además de que

²⁰ Distribuidas en Sudáfrica, Rusia, Zimbabwe, Canadá, Estados Unidos de América, pero predominantemente en Sudáfrica. Estas reservas incluyen además de platino, paladio, rodio, rutenio y otros.

²¹ Dependiendo de la proporción real de platino que se encuentre entre las reservas totales de *elementos del grupo del platino*, como paladio, entre otros.

puedan surgir problemas insalvables de suministro si transcurren largos períodos hasta que ciertos yacimientos sean técnicamente explotables.

Tabla 1

Reservas mundiales de elementos del grupo del platino, enumeradas por volumen y tipo de yacimiento.

Deposit type	Deposit	PGE and gold resources compiled for this chapter (metric tons)	PGE and gold resources compiled by Mudd, 2012 (metric tons)
Reef	Merensky Reef and UG2 Chromitite, Bushveld Complex, South Africa	58,000	56,000
	Main Sulphide Zone, Great Dyke, Zimbabwe	8,200	8,700
	J–M Reef, Stillwater Complex, Montana	2,200	620
	Other areas	2,700	1,700
	Total, reef-type deposits	71,000	67,000
Contact	Platreef, Bushveld Complex, South Africa	17,000	7,700
	Other areas	3,100	1,600
	Total, contact-type deposits	20,000	9,300
Conduit	Noril'sk-Talnakh area, Russia	10,000	11,000
	Other areas	1,200	2,100
	Total, conduit-type deposits	11,000	13,000
Other	All other areas	990	1,200
	Grand total, all three types of deposits	100,000	91,000

Fuente: Platinum Group Elements, Chapter N, p N29, Table N4; (USGS, 2017).

En el supuesto de que se siguieran usando tecnologías similares a las actuales, una reconversión masiva de la flota de transporte uruguayo a motores con celdas de combustible haría al país muy dependiente de suministros asegurados y precios razonables del platino. Para un país como Uruguay, cuyo consumo sería poco significativo globalmente y carente de recursos propios de este metal precioso, si paralelamente la aplicación de esta tecnología se expande globalmente, a nivel nacional se podría tener una situación de vulnerabilidad, ya sea económica por precios del platino inaccesibles o por suministros no garantizados por los proveedores que prefieran mercados de mayor volumen. De ocurrir esta combinación de supuestos, constituiría un HPF de mucha incidencia desfavorable, no sólo para el uso de hidrógeno en el sector transporte uruguayo, sino para la opción renovable como estrategia, ya que no quedarían posibilidades de gestionar la red eléctrica sin dependencias del extranjero. En este caso, se podría considerar si es viable generar hidrógeno en

Uruguay, y en vez de consumir este energético en el país, exportarlo, para lo que no faltarían mercados en caso que se concretara la importante demanda mundial prevista en el mencionado escenario de la IEA. Sin embargo, el transporte, a través de largas distancias marítimas o terrestres, tiene importantes limitaciones técnicas y económicas, derivadas de la necesidad ya mencionada de transportar este gas en forma presurizada, en tanques de características especiales y muy pesados. Se podría también analizar la viabilidad de exportar el hidrógeno uruguayo a Argentina –de existir demanda de su parte– por el gasoducto que nos une a dicho país o de usarlo para combustión directa (sin celdas de combustible) en industrias uruguayas que operen instalaciones a alta temperatura, como la del cemento portland.

Debe tenerse en cuenta la posibilidad de que en lugar de los supuestos anteriores, ocurran otros HPF, como pueden ser avances tecnológicos que reduzcan mucho el contenido de platino en las celdas de combustible, grandes expansiones de la producción mundial de platino, con mejoras en la oferta y economía de escala, descubrimiento de abundantes nuevos placeres²² de platino y/o uso global de celdas de combustible a un nivel menor de lo previsto en los escenarios analizados. De ocurrir todos o muchos de estos últimos HPF, podría surgir un escenario muy favorable para la opción renovable con uso masivo de celdas de combustible a nivel de Uruguay y, eventualmente, global.

Similarmente a lo que se citó anteriormente para los intercambios internacionales, los factores político, económico y científico -tecnológico del poder uruguayo deberían trabajar coordinadamente para anticipar todas las posibles amenazas y oportunidades del ambiente externo y la viabilidad de medidas internas para mitigar amenazas y aprovechar oportunidades, como acuerdos bilaterales con proveedores de insumos clave, subsidios a consumidores uruguayos de ciertos dispositivos tecnológicos, entre otros.

Del análisis de la realidad a corto y mediano plazo, se podrán ir delineando entonces escenarios para el almacenamiento energético masivo a nivel de nuestro país, los que a su vez pueden tener gran incidencia en la viabilidad de la opción renovable como línea viable para la estrategia energética nacional.

²² Placeres: tipos de yacimiento en que el platino se encuentra casi a nivel de la superficie y es fácilmente explotable. Se ha extraído el metal de estas formaciones geológicas desde hace siglos. Se explora en búsqueda de nuevos placeres de platino a orillas de ríos, lagos y mares en diversas ubicaciones de Alaska y Rusia (USGS, 2017, pp. N22-N23).

Referencias

- Administración del Mercado Eléctrico (ADME). (1 de setiembre de 2021). Panel de Control [Publicación en blog]. Recuperado de <https://adme.com.uy/controlpanel.php>
- Administración del Mercado Eléctrico (ADME). (2020). *Informe Anual 2020* [Publicación en blog]. Recuperado de https://adme.com.uy/db-docs/Docs_secciones/nid_526/Informe_Anual_2020_VF_paraweb.pdf
- Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE). (2021). Plan Inteligente [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.ute.com.uy/clientes/soluciones-para-el-hogar/planes-hogar/plan-inteligente>
- Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE). (26 de junio de 2021). Descarbonización e Hidrógeno Verde [Publicación en blog]. Recuperado de <https://portal.ute.com.uy/noticias/descarbonizacion-e-hidrogeno-verde>.
- Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE). (6 de julio de 2021). El país estará 100% electrificado en 2024 [Publicación en blog]. Recuperado de <https://portal.ute.com.uy/noticias/el-pais-estara-100-electrificado-en-2024>.
- Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE). (3 de febrero de 2021). ¡Récord de contrataciones del Plan Inteligente! [Publicación en blog]. Recuperado de <https://portal.ute.com.uy/articulos/record-de-contrataciones-del-plan-inteligente>.
- Dos Santos Guimaraes, L. (2010). *Segurança de sítios nucleares*. Rio de Janeiro (RJ): Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN).
- GDS-UK. (17 de julio de 2021). UN climate change conference. UK 2021 [Publicación en blog]. Recuperado de <https://ukcop26.org/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Technical Summary. En V. M.-D. otros, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. TS1 - TS150). Cambridge University Press.

- International Energy Agency (IEA). (2016). 12.3 Country case studies - integrating VRE in the 450 scenario - 12.3.1 United States. En A. I. Energía, *World Energy Outlook 2016; Part B: Special Focus on Renewable Energy* (pp. 536-531). París: International Energy Agency.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *CCUS in Clean Energy Transitions*. Paris: International Energy Agency (IEA).
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector*. Paris: International Energy Agency (IEA).
- Kadim I. T., Mahgoud, O., Baqir. S., Faye, B. y Purchas R. (2015). Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. *Journal of Integrative Agriculture*, 14 (2), 222-233.
- Merck. (1 de agosto de 2021). Fuel cell Vehicles with a heart inspired by blood [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.merckgroup.com/en/research/science-space/envisioning-tomorrow/scarce-of-resources/sustainable-fuel-cells.html>.
- MIEM. (22 de abril de 2021). Hidrógeno verde, eslabón clave para completar la transición energética [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/hidrogeno-verde-eslabon-clave-para-completar-transicion-energetica>
- Morales Rodríguez, E. (2012). *¿Un Uruguay nuclear? Respuestas sobre seguridad y regulación estatal*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- Morales Rodríguez, E. (2017). Perspectivas de la energía nuclear en el contexto de mitigación del cambio climático. *VI Encuentro Regional de Ingeniería Química*. Montevideo: AIQU.
- Morales Rodríguez, E. F. (2019, 7-11 de octubre). *Nuclear shares in power and final energy consistent with 1,5 °C scenarios - considerations for national climate strategies*. International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power. Viena: IAEA.
- Morales Rodríguez, E. F. (2019, 7-11 de octubre). *Nuclear shares in power and final energy consistent with 1,5 °C scenarios - considerations for national climate strategies*. Presentación en Power Point expuesta en la

- International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power. Viena: IAEA.
- Morales, E. (2019). Estrategia energética Uruguay 2050 – Algunos elementos clave a considerar en fases diagnóstico y política. *Revista Estrategia*, (6), 54-67.
- Morales, E. (2021). Consideraciones estratégicas sobre el desarrollo de un programa nucleoelectrico en Uruguay. *Revista Estrategia*, (8), 7-34.
- Morales, E. F. (2020). Estrategia energética Uruguay 2050 – Elementos clave de fases diagnóstico y política (II). *Revista Estrategia*, (7), 87-104.
- Nucleoeléctrica Argentina S.A. (6 de abril de 2021). Avanzan las negociaciones para la construcción de una cuarta central nuclear [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.na-sa.com.ar/es/prensa/avanzan-las-negociaciones-para-la-construccion-de-una-cuarta-central-nuclear>.
- Rojelg, J. D. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. En V. M.-D. otros, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change* (pp. 93-174). International Panel on Climate Change.
- Temple, J. (2021). Bill Gates: Rich nations should shift entirely to synthetic beef [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/2021/02/14/1018296/bill-gates-climate-change-beef-trees-microsoft/>
- United States Geological Survey (USG). (2017). Platinum Group elements (ChapterN). En J. H. Klaus J. Schulz, *Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply* (pp. N1 - N91). Virginia: United States Geological Service.
- Uruguay XXI. (2021). *Informe Anual Comercio Exterior 2020* [Publicación en blog]. Recuperado de <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/b3d5451b3ea37c8fe71eae875ebc3d18d0f10f2b.pdf>

Uruguay. (1984, enero 19). Decreto Ley n° 15509: Aprobación del Convenio de Ejecución del Acuerdo de Interconexión Energética del 12 de febrero de 1974, entre Uruguay y Argentina. Diario Oficial. Recuperado de <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-ley/15509-1983>

Uruguay. (2007, agosto 8). Ley n° 18160: Aprobación de Acuerdo Internacional. Energía Eléctrica. *Diario Oficial*. Recuperado de <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18160-2007/1>

World Nuclear Association (WNA). (28 de julio de 2020). Country Profiles. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles.aspx>.

